



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“EVALUACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO DE LAS
TERMINALES TERRESTRES INTERCANTONALES E
INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: ROBINSON ALEXANDER GAVILANES BRAVO

JEYSON OMAR GAVILANES BRAVO

TUTOR: DR. FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCÉS

Riobamba – Ecuador

2018

© 2018, Robinson Alexander Gavilanes Bravo y Jeyson Omar Gavilanes Bravo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: **EVALUACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO DE LAS TERMINALES TERRESTRES INTERCANTONALES E INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, de responsabilidad de los señores Robinson Alexander Gavilanes Bravo y Jeyson Omar Gavilanes Bravo, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

DR. FAUSTO YAULEMA GARCES

.....

.....

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

ING. DIEGO BURBANO

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Nosotros, Robinson Alexander Gavilanes Bravo y Jeyson Omar Gavilanes Bravo declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 16 de febrero de 2018

.....

Robinson Alexander Gavilanes Bravo

C.I. 220008127-7

.....

Jeyson Omar Gavilanes Bravo

C.I. 220008124-4

Nosotros, Robinson Alexander Gavilanes Bravo y Jeyson Omar Gavilanes Bravo somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Robinson Alexander Gavilanes Bravo
C.I. 220008127-7

Jeyson Omar Gavilanes Bravo
C.I. 220008124-4

DEDICATORIA

A Dios por la vida y el haberme permitido llegar a este punto de mi vida donde con empeño y dedicación voy a lograr cumplir este gran sueño.

A todos los que hicieron posible la realización de este proyecto, en especial a nuestra familia por brindarnos su apoyo incondicional, paciencia y colaboración a lo largo de este camino estudiantil y ayudarnos a superar todas las adversidades que se han presentado a lo largo de la carrera.

Robinson.

Dedico este trabajo al creador de todo el universo, el que nos ha dado fortaleza en cada momento de dificultad que se nos presentó, quien nos da su amor incondicional día a día, primeramente como dice en la biblia a ti DIOS está dedicado este trabajo.

De igual manera dedico este trabajo a mis padres por su apoyo permanente e incondicional supieron hacerme llegar a uno de los momentos más importantes en mi vida, como es haberme convertido en un profesional y mas que todo como un buen ser humano con unos buenos valores que me han ayudado a salir adelante. A mis docentes y tutor, gracias por su tiempo y apoyo, así como a la sabiduría que nos transmitieron en el desarrollo de nuestra formación profesional simplemente gracias a todos.

Jeyson.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por darnos la vida, por haberme concedido el tiempo para alcanzar esta etapa en mi vidas y por haberme concedido a nuestra familia.

A mis padres por tener paciencia conmigo y por haberme apoyado en cada problema y dificultad que se me ha presentado a lo largo de la vida.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a maestros y tutores que me han instruido y ayudado en la realización de este proyecto.

Robinson.

A DIOS que sin el nada de esto fuera posible desde el primer día, que me ayudo superar cada obstáculo que se puso en mi camino.

A mis padres ALCIVAR GAVILANES Y MARIA BRAVO que con sus sabios concejos me han enseñado a enfrentar cualquier dificultad y siempre perseverar.

A mis hermanos que han sido incondicionales que siempre me han apoyado en todo momento.

Al DR. FAUSTO YAULEMA por toda su colaboración brindada, durante la elaboración de esta tesis.

Jeyson.

TABLA DE CONTENIDOS

Contenido	Pp.
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT	xx
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. La Atmosfera.....	5
<i>1.1.1. Constitución de la Atmosfera.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2. Capas de la atmosfera</i>	<i>6</i>
1.1.2.1. Troposfera	6
1.1.2.2. Estratosfera.....	7
1.1.2.3. Mesosfera.	7
1.1.2.4. Termosfera.	7
1.2. Contaminación Atmosférica.....	8
<i>1.2.1. Clasificación de la contaminación atmosférica</i>	<i>9</i>
1.2.1.1. Contaminación de origen natural	9
1.2.1.2. Contaminación por la actividad humana.....	10
1.2.1.2.1. Según su movilidad:	10
1.2.1.2.2. Según su distribución espacial.	11
<i>1.2.2. Clasificación de los principales contaminantes del aire</i>	<i>12</i>
1.2.2.1. Según su origen.....	13

1.2.2.1.1. Contaminantes primarios	13
1.2.2.1.2. Contaminantes secundarios.....	13
1.2.2.2. Según su estado físico	14
1.2.2.3. Según su composición química.....	15
1.2.2.3.1. Orgánicos	15
1.2.2.3.2. Inorgánicos.....	15
1.2.2.4. Clasificación fisiológica.....	16
1.2.2.4.1. Irritantes	16
1.2.2.4.2. Asfixiantes	16
1.2.2.4.3. Narcóticos y Anestésicos.	16
1.2.2.4.4. Tóxicos sistemáticos	16
1.3. Material Particulado.....	17
<i>1.3.1. Composición del material particulado.....</i>	<i>17</i>
<i>1.3.2. Fuentes del material particulado.....</i>	<i>18</i>
1.3.2.1. Emisiones naturales primarias.	18
1.3.2.2. Emisiones antropogénicas primarias.....	19
1.3.2.3. Partículas secundarias	20
1.3.2.3.1. Compuestos inorgánicos secundarios.	20
1.3.2.3.2. Compuestos orgánicos secundarios.	21
<i>1.3.3. Efectos del Material Particulado</i>	<i>21</i>
1.3.3.1. Efectos sobre la flora y fauna.....	21
1.3.3.2. Efectos sobre los materiales	22
<i>1.3.3.3. Deterioro de la visibilidad</i>	<i>23</i>

1.4. Material particulado (PM_{10}).....	23
<i>1.4.1. Principales fuentes de generación de PM_{10}.....</i>	<i>24</i>
<i>1.4.2. Efectos en la Salud.....</i>	<i>25</i>
1.5. Material Particulado 2.5.....	27
<i>1.5.1. Efectos en la salud debido a la exposición del material particulado 2.5 ($PM_{2.5}$).....</i>	<i>27</i>
1.6. Legislación Ambiental – Calidad del Aire	29
<i>1.6.1. Límites Máximos Permisibles</i>	<i>29</i>
1.6.1.1. Material particulado menor a 10 micrones (PM_{10}).....	29
1.6.1.2. Material particulado menor a 2,5 micrones ($PM_{2.5}$)	29
CAPÍTULO II	
2. METODOLOGÍA	30
2.1 Zona de estudio.....	30
<i>2.1.1 Lugar de la investigación.....</i>	<i>30</i>
2.2 Tipo de investigación	30
<i>2.2.1 Parámetros en estudio.....</i>	<i>30</i>
<i>2.2.2. Esquema del proceso.....</i>	<i>31</i>
2.2.2.1 Procedimientos.....	32
2.2.2.1.1. Elaboración de una línea base	32
2.2.2.1.2. Monitoreo del material particulado	32
2.2.2.1.3. Propuesta de alternativas para mantener y disminuir las concentraciones de material particulado monitoreadas en las terminales en estudio.....	35

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
3.1. Línea Base de las terminales en estudio	37
3.1.1. Información General.....	37
3.1.1.1. Situación geográfica.....	38
3.1.1.2. Climatología.....	38
3.1.1.3. Geomorfología y topografía.....	39
3.1.2. Terminales terrestres en estudio.....	39
3.1.2.1. Terminal Interprovincial	39
3.1.2.1.1. Características generales	39
3.1.2.1.2. Ubicación geográfica del área de estudio y punto de monitoreo	43
3.1.2.1.3. Conteo Vehicular	43
3.1.2.2. Terminal Intercantonal.....	46
3.1.2.2.1. Características generales	46
3.1.2.2.2. Ubicación geográfica del área de estudio y punto de monitoreo	49
3.1.2.2.3. Conteo Vehicular	49
3.1.2.3. Terminal del Barrio la Dolorosa	52
3.1.2.3.1. Características generales	52
3.1.2.3.2. Ubicación geográfica del área de estudio y punto de monitoreo	54
3.1.2.3.3. Conteo Vehicular	55
3.1.2.4. Terminal Oriental.....	58
3.1.2.4.1. Características generales	58
3.1.2.4.2. Ubicación geográfica del área de estudio y punto de monitoreo	60

3.1.2.4.3. Conteo Vehicular	60
3.2. Concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} en las terminales en estudio.....	63
3.2.1. <i>Terminal Interprovincial.....</i>	63
3.2.2. <i>Terminal Intercantonal.....</i>	65
3.2.3. <i>Terminal Barrio la Dolorosa</i>	67
3.2.4. <i>Terminal Oriental.....</i>	69
3.2.5. <i>Comparación de las concentraciones medias del material particulado</i>	71
3.3. <i>Alternativas ambientales para mantener y reducir las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀, registradas en las terminales de la ciudad de Riobamba.</i>	73
3.3.1. <i>Realizar charlas de concientización a choferes y propietarios de las unidades de transporte.....</i>	74
3.3.2. <i>Implementar como requisito del proceso de matriculación de las unidades transporte y vehículos en general, la revisión técnica vehicular.</i>	75
3.3.3. <i>Realizar el control de las emisiones producidas por las unidades de transporte en cada una de las terminales.</i>	76
3.3.4. <i>Promover la renovación de las unidades de transporte.</i>	77
3.4. Discusión	78
CONCLUSIONES.....	80
RECOMENDACIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Composición de la atmosfera	6
Figura 2-1. Contaminantes secundarios según su estado físico	14
Figura 3-1. Fuentes de generación de PM_{10}	24

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2. Esquema del proceso	31
Gráfico 1-3. Promedio de vehículos registrados por hora de monitoreo – Terminal interprovincial.....	45
Gráfico 2-3. Promedio de vehículos registrados en los días de monitoreo - Terminal interprovincial	46
Gráfico 3-3. Promedio de vehículos registrados por hora de monitoreo – Terminal intercantonal	51
Gráfico 4-3. Promedio de vehículos registrados en los días de monitoreo - Terminal intercantonal.....	52
Gráfico 5-3. Promedio de vehículos registrados por hora de monitoreo – Terminal del barrio La Dolorosa.....	57
Gráfico 6-3. Promedio de vehículos registrados en los días de monitoreo - Terminal del Barrio la Dolorosa	58
Gráfico 7-3. Promedio de vehículos registrados por hora de monitoreo – Terminal oriental	62
Gráfico 8-3. Promedio de vehículos registrados en los días de monitoreo - Terminal oriental .	63
Gráfico 9-3. Comparación de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ de los días de monitoreo – Terminal interprovincial	64
Gráfico 10-3. Comparación de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ de los días de monitoreo – Terminal intercantonal	66
Gráfico 11-3. Comparación de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ de los días de monitoreo – Terminal del barrio La Dolorosa.....	68
Gráfico 12-3. Comparación de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ de los días de monitoreo – Terminal oriental.....	70
Gráfico 13-3. Comparación de general de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en función al número de vehículos registrados en los días de monitoreo	72

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1-3. Ubicación geográfica de las cuatro terminales en estudio, dentro del perímetro urbano	37
Mapa 2-3. Ubicación geográfica de la terminal interprovincial y su estación de monitoreo	43
Mapa 3-3. Ubicación geográfica de la terminal intercantonal y su estación de monitoreo.....	49
Mapa 4-3. Ubicación geográfica de la terminal del barrio La Dolorosa y su estación de monitoreo	55
Mapa 5-3. Ubicación geográfica de la terminal oriental y su estación de monitoreo	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Fuentes no puntuales de contaminación	12
Tabla 2-1. Contaminantes primarios	13
Tabla 3-1. Fuentes de generación de $PM_{2.5}$	27
Tabla 1-2. Matriz para el conteo vehicular.....	32
Tabla 1-3. Cooperativas de transporte terrestre que forman parte de la terminal interprovincial.....	41
Tabla 2-3. Conteo vehicular de la terminal interprovincial.....	44
Tabla 3-3. Cooperativas de transporte terrestre que forman parte de la terminal intercantonal.	47
Tabla 4-3. Conteo vehicular de la terminal intercantonal	50
Tabla 5-3. Cooperativas de transporte terrestre que forman parte de la terminal del barrio La Dolorosa.....	53
Tabla 6-3. Conteo vehicular de la terminal del barrio La Dolorosa.....	56
Tabla 7-3. Cooperativas de transporte terrestre que forman parte de la Terminal Oriental	59
Tabla 8-3. Conteo vehicular de la terminal oriental.....	60
Tabla 9-3. Concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la terminal interprovincial	63
Tabla 10-3. Estimación de PM_{10} en la terminal interprovincial	65
Tabla 11-3. Estimación de $PM_{2.5}$ en la terminal interprovincial	65
Tabla 12-3. Parámetros meteorológicos durante los días de monitoreo - Terminal interprovincial	65
Tabla 13-3. Concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la terminal intercantonal	66
Tabla 14-3. Estimación de PM_{10} en la terminal intercantonal.....	67
Tabla 15-3. Estimación de $PM_{2.5}$ en la terminal intercantonal	67

Tabla 16-3. Parámetros meteorológicos durante los días de monitoreo - Terminal intercantonal	67
Tabla 17-3. Concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la terminal del Barrio la Dolorosa	67
Tabla 18-3. Estimación de PM_{10} en la terminal del barrio La Dolorosa	69
Tabla 19-3. Estimación de $PM_{2.5}$ en la terminal del barrio La Dolorosa.....	69
Tabla 20-3. Parámetros meteorológicos durante los días de monitoreo - Terminal del barrio La Dolorosa.....	69
Tabla 21-3. Concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la terminal oriental.....	70
Tabla 22-3. Estimación de PM_{10} en la terminal oriental	71
Tabla 23-3. Estimación de $PM_{2.5}$ en la terminal oriental.....	71
Tabla 24-3. Parámetros meteorológicos durante los días de monitoreo - Terminal oriental.....	71
Tabla 25-3. Coeficiente de Person y P-valor calculado para la relación Vehiculos- PM_{10}	73
Tabla 26-3. Coeficiente de Person y P-valor calculado para la relación Vehiculos- $PM_{2.5}$	73

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-2. Ubicación e instalación de las estaciones de monitoreo en la terminal interprovincial	33
Fotografía 1-3. Áreas que conforman la terminal interprovincial.....	40
Fotografía 2-3. Áreas que conforman la terminal intercantonal	47
Fotografía 3-3. Vista frontal de la estructura que conforma la terminal del barrio La Dolorosa	53
Fotografía 4-3. Vista frontal de la estructura que conforma la terminal oriental.....	59

RESUMEN

Se evaluó el material particulado de las terminales terrestres intercantonales e interprovincial de la ciudad de Riobamba. Para esto se elaboró una línea base la cual consto con la información de cada una de las terminales y un conteo del número de vehículos que circulan en cada una de ellas, se registró las concentraciones PM_{10} y $PM_{2.5}$, esto se realizó a través del método gravimétrico mediante un muestreador de alto caudal, el muestreo se realizó por 24 horas de acuerdo a lo estipulado por la legislación ecuatoriana y se repitió por tres días, los resultados obtenidos se compararon a través de un Diseño Completamente al Azar (DCA) mediante un análisis de varianza, la prueba de chi-cuadrado y se complementó con un análisis de correlación. Las concentraciones medias registradas en la terminal interprovincial fueron de $79.46 \mu g/m^3$ para PM_{10} y $46.03 \mu g/m^3$ para $PM_{2.5}$, para la terminal intercantonal fue de $59.13 \mu g/m^3$ para PM_{10} y $40.9 \mu g/m^3$ para $PM_{2.5}$, en la terminal del barrio La Dolorosa fue de $47.8 \mu g/m^3$ para PM_{10} y $36.09 \mu g/m^3$ para $PM_{2.5}$, en la terminal oriental fue de $50.86 \mu g/m^3$ para PM_{10} y $44.18 \mu g/m^3$ para $PM_{2.5}$, ninguna de las terminales excedió los límites máximos permisibles que son de $100 \mu g/m^3$ para PM_{10} y $50 \mu g/m^3$ para $PM_{2.5}$; el p-valor obtenido en el análisis de varianza fue ≤ 0.05 para los dos tamaños de partícula por lo tanto existió diferencias significativas entre sus concentraciones, esto quedo corroborado con el análisis de chi-cuadrado el cual determino que las concentraciones están asociadas al lugar de monitoreo, por su parte el coeficiente de correlación de Person indicó que existe una correlación entre el número de carros y las concentraciones, ya que a medida que aumentan los vehículos las concentraciones también lo hace.

Palabras clave: <BIOTECNOLOGÍA>, <MEDIO AMBIENTE>, <CONTAMINACIÓN AMBIENTAL>, <MATERIAL PARTICULADO>, <ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO>, <NORMATIVA AMBIENTAL>, <CORRELACIÓN>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>

ABSTRACT

This research deals with the evaluation of the particulate matter of the intercantal and interprovincial land terminal in Riobamba. To do so a baseline was elaborated which comprises information of each of the land terminals and count of the number of vehicles that circulate in each one of them, concentrations of PM10 and PM2.5 were recorded, this was done through the gravimetric method by means of a high flow sampler, sampling was carried out for twenty-four hours according to with the conditions stipulated by the Ecuadorian legislation and it was repeated for three days. The obtained results were compared with a completely randomized design (DCA) using an analysis of variance, the chi-square test and it was completed with a correlation analysis. The mean concentrations recorded in the interprovincial terminal land were of 79.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM10 and 46.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5, for the intercantal terminal land were of 59.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM10 and 40.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5, in the terminal land of La Dolorosa neighborhood were of 47.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM10 and 36.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5, in Oriental land terminal were of 50.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM10 and 44.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5, Neither of the terminal lands exceeded the maximum permissible limits which are of 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM10 and 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5; the p-value obtained in the analysis of variance was of ≤ 0.05 for the two particle size thus there were significantly differences between their concentrations, this was corroborated by the chi-square analysis which determined that the concentration is associated with a correlation between the number of cars and the concentrations, since as the number of vehicles increase so do the concentrations.

Key Words: <BIOTECHNOLOGY>, <ENVIRONMENT>, <ENVIRONMENTAL POLLUTION>, <PARTICULATE MATTER>, <GRAVIMETRIC ANALYSIS>, <ENVIRONMENTAL REGULATION>, <CORRELATION>, <RIOBAMBA CANTON>.

INTRODUCCIÓN

Son innegables los efectos que se han producido consecuencia del desarrollo que ha tenido la humanidad en el transcurso del tiempo, esto se ve reflejado principalmente en la degradación que ha sufrido el medio ambiente y la biosfera, la generación de calor a partir de la combustión de la madera y el carbón se puede considerar dentro de las primeras acciones del hombre que ocasiono la emisión de elementos contaminantes a la atmosfera, siendo la disminución de la visibilidad uno de los primeros efectos palpables, producto del humo y la niebla que genera este proceso, mismos que fueron ampliándose tanto en extensión como intensidad de forma notable a partir de la revolución industrial.

Con el pasar del tiempo, a inicios del siglo XX se produjeron los primeros registros documentados de casos específicos de afecciones a la salud humana producto de la contaminación ambiental en especial del aire, los cuales se caracterizaron por registrar, que debido a un incremento de las concentraciones de contaminantes específicos en rangos de tiempos cortos ya sea de horas o días, ocasionaron un aumento a tener en cuenta en los niveles de mortalidad y morbilidad, estos casos se ubicaron en zonas que se encontraban con una fuerte influencia de emisiones ligadas a procesos de combustión de combustibles fósiles, en especial en áreas urbanas e industriales, donde se tenía un estado meteorológico con una atmosfera estable, esta combinación permitía que en los estratos bajos de la atmosfera se acumule las emisiones antes mencionadas, llegando a tener concentraciones altamente elevadas de gases y elementos considerados contaminantes (Salvador, 2005).

Es importante mencionar que las concentraciones altas de contaminantes han generado episodios que deben ser mencionados como el ocurrido en Donara en octubre de 1948, poblado ubicado en el estado de Pennsylvania en EE.UU, esta zona tenía características específicas, estaba rodeada de colinas, era plana, tenía presencia de humedad y temperaturas bajas, esta combinación hizo que se forme una espesa niebla de contaminantes que estaba alimentada por las emisiones de las industria de la zona, encargadas de la producción de ácido sulfúrico, de la fundición de zinc y la acería, cuando la niebla desapareció del poblado, esta ocasiono 22 muertes y cerca de la mitad de sus 14000 habitantes sufrieron algún tipo de enfermedad ligada a la contaminación que se registró (Salvador, 2005). Otro caso para tener en cuenta es el que se registró en Londres del 5 al 9 de diciembre en el año de 1952, ocasionado por el aumento en la concentración de material particulado y dióxido de azufre, esto ocasiono que la mortalidad alcance cifras nunca vistas llegando a ser de 6000 personas, los principales afectados fueron niños y personas que padecían cuadros pulmonares o cardíacos (Ahrens, 2012).

Este tipo de casos hizo que en cada país se promulguen legislaciones específicas con respecto a la calidad del aire en lo referente a los límites máximos permisibles que los contaminantes deben registrar, además se dio un gran impulso a la investigación exhaustiva de las causas y consecuencias de la contaminación atmosférica. Los resultados se evidenciaron con el descubrimiento de nuevos elementos contaminantes y los efectos que estos producían, esta base permitió determinar cuáles eran los límites a los cuales podían llegar los contaminantes, teniendo en cuenta la preservación de la salud de las personas.

Dentro de la gran variedad de contaminantes que se han registrado con el tiempo, el material particulado o partículas es uno de los que más dificultades presenta a la hora de ser caracterizado y controlado, esto debido a su naturaleza y a la gran variedad de fuentes emisoras existentes, su origen puede ser primario, mismas que pueden ser producto de la naturaleza cuando sus emisiones son directas como es el caso del aerosol marino o las erupciones volcánicas y también pueden ser antropogénicas cuando es producto de las industrias o vehículos; por su parte el origen es secundario cuando estas se generan por reacciones de conversión gas-partícula como es el caso de los sulfuros que tienen como base el dióxido de azufre. Sea cual fuese el origen de las partículas, el tamaño y composición de las mismas viene dado por los procesos asociados con la emisión o los que pueden suceder en la atmósfera, dichos procesos conllevan una serie de reacciones de depósito o segregación, físicas y químicas o de movilidad (Echeverri y Maya, 2008).

El tamaño que posea el material particulado es de relevancia para poder comprender como se transporta en la atmósfera y las consecuencias que tiene en la salud humana, en función a su tamaño se ha clasificado en dos grupos, las grandes o de fracción gruesa denominadas como PM_{10} , con un tamaño que va de los 2.5 a los 10 micrómetros y las pequeñas o de fracción fina llamadas como $PM_{2.5}$ que son las que se encuentran por debajo de los 2.5 micrómetros, estas ingresan al sistema respiratorio al ser inhaladas debido a su tamaño, a pesar de que el organismo cuenta con varios mecanismos naturales de protección, entre más partículas ingresen al aparato respiratorio, las consecuencias en la salud irán en aumento, ya que el sistema pulmonar llega a un punto en el cual es incapaz de eliminar los contaminantes, sobre todo cuando el tiempo que se permanece en ambientes contaminados es amplio (Silva, 2010).

El presente trabajo investigativo tiene como finalidad evaluar el material particulado presente en las cuatro principales terminales de transporte terrestre de la ciudad de Riobamba, determinando si las concentraciones registradas tanto de PM_{10} como de $PM_{2.5}$ sobrepasan los límites máximos permitidos por la legislación ecuatoriana, de ser el caso proponer medidas que permitan

disminuir dichas concentraciones, los datos obtenidos servirán como base para que las autoridades pertinentes puedan tomar las medidas necesarias en post de conservar la salud de los habitantes de la ciudad.

Justificación de la investigación

La contaminación atmosférica afecta a la salud de las personas tanto en naciones desarrolladas como en vías de desarrollo debido al aumento de las concentraciones de contaminantes en el aire, alcanzando rangos lo suficientemente altos como para afectar el bienestar y la seguridad de las personas, la ciudad de Riobamba no está libre de esto, debido a que en los últimos años se ha dado un incremento notable de la población, a la par también lo hecho los servicios de comunicación como el transporte urbano, parroquial, cantonal e interprovincial tanto públicos como privados, este incremento se ha manifestado de forma dispar en lo que concierne a los vehículos que prestan el servicio, por una parte la mayoría de buses nuevos que cumplen con las estándares de calidad ambiental se concentran en la terminal interprovincial de la ciudad, mientras que buses que en muchos de los casos se podrían considerar obsoletos tienden a circular en las terminales interparroquiales e intercantonales, generalmente los buses que cumplen su ciclo de servicio a otras provincias pasan a formar parte de las cooperativas a nivel local y provincial, el parque automotor para servicio de transporte está conformado por buses diésel, mismos que a medida que aumenta sus kilómetros de recorrido y sin un mantenimiento adecuado incrementan sus niveles de contaminación, dentro de estos contaminantes se encuentra el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, estos al sobrepasar los límites máximos permitidos por la legislación ecuatoriana pueden afectar a las personas que día a día hacen uso y trabajan en las terminales de la ciudad, ya que debido al tamaño de las partículas estas ingresan fácilmente al sistema respiratorio provocando enfermedades de tipo asmáticas, cardíacas, pulmonares, entre otras.

Por tal razón es importante realizar el monitoreo de las concentraciones de material particulado, sobre todo en las terminales terrestres donde el movimiento vehicular es constante, los resultados obtenidos deben reflejar de forma precisa los niveles registrados para poder determinar de forma exacta si el funcionamiento de cada terminal está afectando a sus usuarios, por esto en el presente trabajo investigativo se evaluó las concentraciones a través del método gravimétrico, mediante un muestreador de alto o de bajo caudal de en las siguientes terminales: terminal interprovincial, terminal intercantonal, terminal oriental y terminal del barrio la dolorosa, comparando la variación existente y la relación existente con el movimiento vehicular

que se produce en cada una de ellas, de esta forma los datos obtenidos servirán como base para proponer alternativas ambientales que permitan reducir las concentraciones o a su vez, si fuera el caso que se encontraran dentro de los límites máximos permisibles procurar que no los sobrepasen, además el presente documento será entregado al área de salubridad e higiene del gobierno autónomo descentralizado del cantón Riobamba, mismo que servirá como base científica de las condiciones actuales de los niveles de concentración de material particulado, a partir del cual podrán tomar las medidas administrativas necesarias en post de precautelar la salud de los habitantes de la ciudad, en especial de las personas que se encuentran dentro del área de influencia de las terminales evaluadas.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

General

- Evaluar el material particulado de las terminales terrestres intercantionales e interprovincial de la ciudad de Riobamba

Específicos:

- Elaborar una línea base de las cuatro terminales a ser evaluadas en la ciudad de Riobamba
- Determinar la concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, en las terminales terrestres de la ciudad de Riobamba
- Proponer alternativas ambientales para reducir o mantener las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, en función a la legislación ecuatoriana para la calidad del aire.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. La Atmosfera

La atmósfera la constituye una masa gaseosa que tiene un grosor de aproximadamente 2000 km, su función primordial es la de servir como una capa que protege la tierra permitiendo que se desarrolle la vida, el ozono presente en esta capa, imposibilita que el espectro de luz solar ingrese totalmente al planeta (Cocha, 2009); otra función relevante es que sirve como un regulador térmico movilizandando las masas de frío a partir de los polos, de calor desde las zonas desérticas y tropicales, precipitaciones desde los océanos, por otro lado con vientos mayores a 300km/h esta puede ser agitada como es el caso de los ciclones y tornados; todos éstas corrientes influyen en las diferentes formas de vida tanto animal como vegetal de la Tierra (Lozano, 2009).

1.1.1. Constitución de la Atmosfera

La atmósfera está compuesta de nitrógeno (N), oxígeno (O) y argón (Ar), con un estimado de 78%, 21% y 0.9% para cada uno de ellos (Cocha, 2009), a más de otras concentraciones mínimas de elementos gaseosos como el: hidrógeno, helio, neón, xenón, criptón, y óxido nitroso, los cuales pueden interactuar o no con otro tipo de moléculas; por otro lado también existen elementos gaseosos en cantidades pequeñas que interactúan con la hidrósfera, la biosfera, y entre ellos, estos gases tienen concentraciones variables y un lapso de duración limitado (Figura 1-1) (Strauss y Mainwaring, 2011).

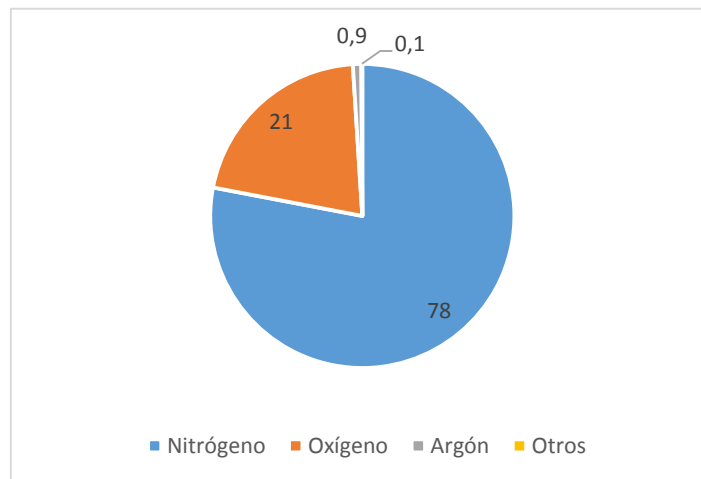


Figura 1-1. Composición de la atmosfera

Fuente: Cocha, (2009)

1.1.2. Capas de la atmosfera

La atmósfera puede dividirse en diferentes capas horizontales tomando en cuenta la variación de la temperatura en función a la altura. Por lo que según su estratificación esta se divide en cuatro, las cuales se describen a continuación.

1.1.2.1. Troposfera

Para un enfoque de la contaminación atmosférica es necesario el estudio de la capa inferior la cual actúa como componente receptor de la misma y donde se producen las transformaciones químicas de los contaminantes y fenómenos de transporte. La troposfera viene a ser la parte inferior de la atmósfera que se encuentra libre, con un grosor de 10 ó 12 km aproximadamente, esta capa está caracterizada por el declive de la temperatura en función al aumento de la altura, el declive de la temperatura en la troposfera libre en promedio es de $6.5^{\circ} \text{K} / \text{Km}$. Además, esta capa está conformada por la mayor parte de la masa de la atmósfera, que va desde un 75% a un 90% de la masa total de la misma. Como se mencionó al inicio esta capa tiene una gran relevancia porque es la parte más cercana a la superficie terrestre y, por tanto, es el lugar donde se dan los fenómenos meteorológicos más estudiados, así como las actividades propias de los seres vivos (Molina, 2013).

La parte de la troposfera que está más cerca de la superficie de la tierra viene a ser la capa límite, misma que está influenciada por la superficie de la tierra que reacciona a fuerzas de la superficie con un tiempo aproximado de una hora o inferior. En esta capa límite la temperatura es muy distinta a la del resto de la troposfera denominada, troposfera libre. También, en esta capa se originan diferenciaciones muy relevantes de temperatura en el transcurso del día y noche. Como particularidad se tiene zonas con inestabilidad térmica (disminución de la temperatura con la altura) durante el día y de estabilidad o incluso de inversión térmica durante la noche, los cuales se relacionan por los problemas de contaminación que se producen en las grandes ciudades como consecuencia de problemas llamados “isla térmica” (Molina, 2013).

1.1.2.2. Estratosfera

Es el espacio ocupado que esta entre la tropopausa, hasta alrededor de los 50 km. La estratosfera se divide en dos capas, donde la capa inicial está caracterizada por ser isotérmica, mientras que la capa superior se caracteriza porque es donde se produce un incremento de temperatura acorde al incremento de la altura, esto debido a las diferentes reacciones exotérmicas producidas, donde el ozono (O_3) y el oxígeno molecular (O_2) reaccionan absorbiendo los rayos ultravioletas dañinos para los seres vivos, por lo que, su acción es indispensable para el desarrollo de la vida en la superficie terrestre (Molina, 2013).

1.1.2.3. Mesosfera.

Capa que se encentra entre los 50 y 80 km, se caracteriza por tener una disminución de temperatura a medida que se incrementa la altura. Está capa está constituida por bajas proporciones de ozono (O_3) y formas ionizadas de oxígeno atómico (Molina, 2013).

1.1.2.4. Termosfera.

Capa comprendida desde la mesopausa hasta el espacio exterior. Las zonas altas superiores por sobre los 200 km predomina el oxígeno atómico, mientras que en las zonas bajas están compuestas por oxígeno molecular y nitrógeno. Esta capa se identifica por tener un incremento de temperatura con la altitud debido a que el nitrógeno y el oxígeno absorben la radiación de longitud de onda muy corta, por este motivo, es muy energética, que no permite que llegue a la mesopausa. Aquí se producen fenómenos relevantes, como la neutralización de los rayos

ultravioletas de onda corta, rayos X y la radiación cósmica esto se debe a la actividad intensiva del campo magnético del planeta (Molina, 2013).

1.2. Contaminación Atmosférica

Es la presencia de toda energía o materia en el aire, el cual puede estar en cualquiera de sus fases físicas y formas, que al actuar o unirse en la atmósfera, alteran o modifican el estado natural y su constitución. El aire es una sustancia que, en altas concentraciones, puede afectar al hombre, vegetales, animales o materiales, además puede contener cualquier compuesto disponible que puede ser trasladado por el aire como gotas líquidas, partículas sólidas, gases o a su vez una combinación de los elementos antes mencionados, estos se dividen en primarios, secundarios y terciarios (GEM, 2007). Además, se pone de manifiesto la definición propuesta por Villegas (1999) que define como contaminación, a la variación en la constitución media del aire, es decir cuando existen efectos desfavorables, que van desde simples molestias hasta daños peligrosos que perjudiquen la salud.

Los contaminantes que son emitidos a la atmósfera pueden ser trasladados de un sitio a otro o almacenados en un lugar específico, durante el transcurso de este proceso van a sufrir transformaciones físicas y químicas, hasta que este se estabilice. Los distintos compuestos químicos se pueden depositar en la superficie o en numerosos sistemas, por lo general en forma de aerosoles (nubes, gotas, brumas, u otros), los cuales son llevados a la superficie por las precipitaciones o por el viento hasta el momento que se establezcan en las capas superiores de la atmósfera o por el contrario hasta que se eliminen (Domínguez, 2015).

La contaminación atmosférica está compuesta por una combinación de líquidos, sólidos y gases que se disipan acorde a las condiciones topográficas y atmosféricas del lugar en el cual se localice la fuente de emisión (polvos, humos, bacterias, polen, vapores, gases y sus mezclas) (López & Solís, 2003). Una de las consecuencias ambientales más dificultosas de prevenir y contrarrestar es la incidencia sobre la calidad de vida de todos los seres que habitan el planeta. Inhalar el aire a pesar de que este se encuentre contaminado, es un suceso involuntario y necesario para que los seres vivos puedan sobrevivir, los efectos graves de la contaminación atmosférica se encuentran expresados en las llamadas premisas de Stokinger, las cuales se mencionan a continuación:

- a) Los elementos contaminantes del aire son los responsables de que exista un mayor aumento de enfermedades (como el envejecimiento, bronquitis, asma, cáncer

respiratorio), en comparación a los agregados contenidos en los alimentos y en el agua juntos.

- b) Los agentes de contaminación del aire muestran sus efectos cuando estos se combinan con otros agentes es raro que lo realicen por si solos o con elementos que existen en el huésped (infecciones, deficiencia genética del metabolismo) (Villegas, 1999).

La contaminación atmosférica puede ser transformada, asimilada o eliminada, de esa manera se permite que los sistemas permanezcan en equilibrio, esto se da en función con las leyes físicas. A pesar de lo antes mencionado, en varios de los casos las proporciones de sustancias contaminantes en la atmósfera sobrepasan la capacidad que tiene el sistema para mantenerse en equilibrio, originando un cambio en el ambiente natural (Kathryn, et al., 2004).

1.2.1. Clasificación de la contaminación atmosférica

La contaminación del aire es un fenómeno presente principalmente en la vida urbana, esto se da cuando la capacidad del aire para disolver los agentes contaminantes se ha sobrecargado, debido a la urbe, el impulso industrial y la dependencia de los motores de combustión interna, los cuales son la causa de un aumento en las emisiones de las partículas y gases. El 42% de los contaminantes representado en peso, en su mayoría el monóxido de carbono, el cual se dispersa rápidamente, presentes en la atmosfera pertenece al transporte en vehículos. El 21% de todos los contaminantes en peso corresponden a la ignición de combustibles de fuentes estacionarias, los cuales originan aproximadamente el 25% de las emisiones totales de óxidos de azufre. Por lo que, se debe tomar en cuenta el peligro que representan los contaminantes en el ambiente (Alley, 2001).

Principalmente se les atribuyen las emisiones a los diferentes procesos de combustión de los motores de vehículo y de las empresas, aunque existen otros orígenes, fuentes y tipos de contaminación atmosférica que se mencionan a continuación.

1.2.1.1. Contaminación de origen natural

Estas fuentes de contaminación han existido desde siempre ya sea en mayor o menor frecuencia y magnitud, los cuales son fenómenos o procesos de emisión que se presentan como resultado de la acción de eventos meteorológicos, geológicos y/o procesos metabólicos, que se presentan en los ecosistemas (López y Solís, 2003), además se incluye a todos los fenómenos que ocurren en

la ambiente como la los incendios forestales espontáneos, estos contaminan el aire con CO, SO_x, CO₂, NO_x y partículas, la actividad volcánica por su parte vierte SO₂, H₂S, SO₃, CO, CO₂ y partículas, la presencia de vegetación genera polen que es acarreado por el aire, los procesos de erosión por la disgregación de partículas, las emisiones generadas por los procesos metabólicos de la vegetación cuya estructura tiene un alto porcentaje de hidrocarburos, por su parte los océanos generan partículas de sal que son altamente corrosivas y por lo genera pasan a la atmósfera (Villegas, 1999).

1.2.1.2. Contaminación por la actividad humana

Este tipo de contaminación incluye actividades relacionadas con el con el día a día de las sociedades, como por ejemplo, el transporte en vehículos automotores que contaminan con CO, hidrocarburos, NO_x, plomo, benzopirenos, procedentes de quemas incompletas de estos compuestos, las domésticas que producen partículas, SO_x, NO_x y CO, debido a la utilización de combustibles en la cocina y calefacción, las que genera la industria debido a los procesos de industrialización generan humos y partículas, además de la quema de residuos y basuras que de igual manera contaminan con aerosoles, humos y CO (Villegas, 1999).

Estas actividades son denominadas por diferentes autores como fuentes antropogénicas. Se clasifican por su movilidad o distribución espacial.

1.2.1.2.1. Según su movilidad:

1.2.1.2.1.1. Fuentes fijas

Según el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEEPA), de acuerdo con el artículo 6, en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, estas se definen como una instalación establecida en un solo sitio y que tiene como finalidad desarrollar procesos u operaciones industriales, comerciales, de actividades o servicios que generen emisiones contaminantes hacia la atmósfera (SEMARNAT, 2015). Como ejemplos de estas fuentes tenemos a las cementeras, refinerías e industrias de procesos químicos y de alimentos, entre otras.

1.2.1.2.1.2. Fuentes móviles

El mismo reglamento de la LEGEPA, lo define como cualquier maquinaria y equipo no móviles, que funcionen a partir de motores de combustión y similares, que por motivo de su operación emiten o pueden generar emisiones contaminantes que perjudiquen la atmósfera, incluyen camiones de carga, motos autos, y el transporte público en general (avionetas, trenes, buques etc.) (SEMARNAT, 2015).

1.2.1.2.2. Según su distribución espacial.

1.2.1.2.2.1. Fuentes puntuales

Se definen como las fuentes cuyas emisiones contaminantes a la atmósfera son identificadas a nivel de cada establecimiento, por lo que es factible monitorear en estas el acatamiento de límites máximos permisibles de emisión de contaminantes, de igual manera es posible mantener una actualización constante del inventario de las fuentes de contaminación. La mayor parte de industrias como las farmacéuticas, de petróleos y químicos, automotriz, del papel, metalúrgica, vidrio, asbesto, acuacultura, avicultura, productos lácteos, fábrica de hielo, molienda de trigo, fábrica de balanceados, alimentos para animales, de refrescos, de tabaco, entre otras se las considera como puntuales (Domínguez, 2015).

1.2.1.2.2.2. Fuentes no puntuales, denominadas fuentes de área

Incluyen una o varias actividades distribuidas en una determinada área, donde su contribución particular, en contraposición a las fuentes puntuales, no es posible identificar y evaluar de forma exacta. En forma individual, generan porcentajes bajos de contaminantes, pero al agruparse en una sola área sus emisiones constituyen una aportación considerable de contaminantes hacia la atmósfera. En esta clase de fuentes están incluidas la mayor parte de establecimientos de servicio, comerciales, y los hogares. Una clasificación de este tipo de fuentes se muestra en la tabla 1-1 (Domínguez, 2015).

Tabla 1-1. Fuentes no puntuales de contaminación

Fuentes evaporativas de hidrocarburos	Rellenos sanitarios Uso de asfalto Panaderías Plantas de tratamiento de agua residual Tiraderos a cielo abierto Distribución de gas L.P.
Pérdidas evaporativas por transporte y almacenamiento de combustible	Distribución y almacenamiento de Carga de aeronaves gasolina Almacenamiento de combustible
Evaporación de solventes por fuentes de área	Lavado en seco Superficies arquitectónicas Artes gráficas Consumo comercial de solventes Limpieza y desengrase Recubrimientos industriales Esterilización de hospitales Incineración de residuos hospitalarios Pintura de tránsito Pintura automotriz
Fuentes de combustión	Combustión comercial-institucional Combustión habitacional
Fuentes móviles no carreteras	Locomotoras de patio Locomotoras foráneas Aeropuerto (operaciones de aeronaves)

Fuente: Domínguez, (2015)

1.2.2. Clasificación de los principales contaminantes del aire

Estos contaminantes se pueden clasificar en primarios o secundarios, sean estos emitidos a la atmósfera por fuentes de origen natural, antropogénico, o que se formen debido a las interacciones químicas entre contaminantes primarios, constituyentes y las condiciones de la atmósfera (López & Solís, 2003).

1.2.2.1. Según su origen

1.2.2.1.1. Contaminantes primarios

Se denominan contaminantes primarios cuando se hallan tal como son emitidos a la atmósfera, esto es el resultado de un proceso natural o por las actividades humanas, como el dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO) (Tabla 2-1) (Domínguez, 2015).

Tabla 2-1. Contaminantes primarios

Clase	Contaminantes Primarios	Contaminantes Secundarios
Compuestos que contienen azufre	SO ₂ , H ₂ S	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , MSO ₄ (sulfatos)
Compuestos que contienen nitrógeno	NO, NH ₃	NO ₂ , MNO ₃ (nitratos)
Compuestos orgánicos		Cetonas, aldehídos, ácidos
Halógenos	HCl, HF	
Óxidos de carbono	CO, CO ₂	

Fuente: Domínguez, (2015)

1.2.2.1.2. Contaminantes secundarios

Estos resultan de reacciones químicas entre los contaminantes o también de las reacciones de los elementos de la atmósfera como por ejemplo de los sulfatos (SO_x) y el ozono (O₃). Los oxidantes fotoquímicos se forman cuando los óxidos de nitrógeno (NO_x), los hidrocarburos volátiles, y el oxígeno (O), son expuestos a la radiación solar originando nuevos compuestos, como el ozono, peroxiacil nitratos (PAN), radicales hidroxilos (OH), peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y aldehídos, entro otros (Gonzáles y Villafaña, 2003).

La interacción de los diversos fenómenos de contaminación de la atmosfera (como los óxidos de nitrógeno), que a través reacciones fotoquímicas generan el smog, también son los gases de efecto invernadero los cuales provocan que la capa de ozono se vaya destruyendo, a más de ocasionar la precipitación ácida. Los trióxidos de azufre (SO₃) incurren en la destrucción de la capa ozono, está dentro de los gases de efecto invernadero y son también los que ocasionan la precipitación ácida. Los clorofluorocarbonos (CFC), son los causantes de la destrucción de la capa de ozono y son gases de efecto invernadero. Por otro lado, el dióxido de carbono (CO₂), no integra parte del smog, ni provoca la destrucción de la capa de ozono, pero al aumentar su concentración este es determinante en el efecto invernadero, su ciclo normal y benéfico está

vinculado con la presencia de vegetación sobre la superficie de la Tierra, capaz de realizar la fijación a través de la fotosíntesis. Pero la destrucción de la capa de ozono, la precipitación ácida y el smog afectan la vegetación y con ello pueden ocasionar el incremento del gas carbónico y de los gases de efecto invernadero. El ozono de la capa estratósfera protege a la Tierra de los rayos solares UV perjudiciales, pero en la capa tropósfera el ozono es un gas de efecto invernadero que genera smog y aporta con el calentamiento del planeta. Todas estas interrelaciones manifiestan que la contaminación atmosférica es un problema que debe resolver de manera integral, considerando todos los fenómenos en conjunto (Villegas, 1999).

1.2.2.2. Según su estado físico

Se toma en consideración las fases y las propiedades físicas en que se hallen los contaminantes, además es la más utilizada, como se puede observar en la figura 2-1.

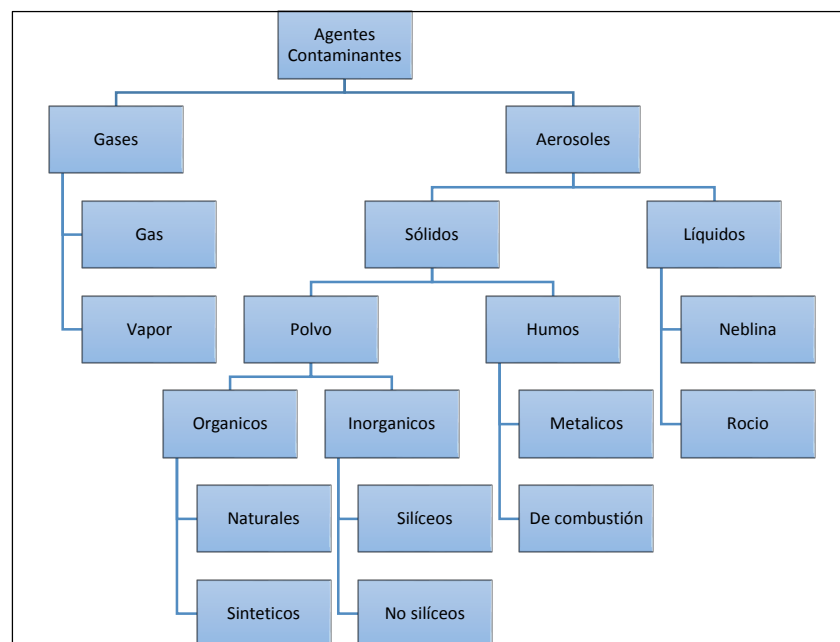


Figura 2-1. Contaminantes secundarios – Según su estado físico

Fuente: Villegas, (1999)

Los gases son sustancias donde su punto de ebullición es inferior a la temperatura ambiente, como, por ejemplo, el dióxido de carbono (CO_2), el dióxido de azufre (SO_2). En cambio, los

vapores son procedentes de sustancias donde su punto de ebullición es superior a la temperatura ambiente, como, por ejemplo, el éter ($(C_2H_5)_2O$), cloroformo ($CHCl_3$) o vapor de agua.

Los aerosoles son soluciones verdaderas de líquidos o sólidos que se encuentran en fase gaseosa o también pueden ser dispersiones coloidales, los aerosoles que esparcen sólidos lo hacen en forma de partículas sólidas (polvo), o en forma de humos; estos humos podrían ser de metales expuestos a temperaturas altas provocando así la vaporización (humos metálicos) o procedentes de la combustión. Los polvos pueden ser orgánicos (sustancia sintética o natural), e inorgánicos (material silíceo o no silíceo); la última clasificación es debido al efecto que tiene el material silíceo sobre las vías respiratorias (silicosis) (Villegas, 1999).

Otros autores incluyen a los vapores en la clasificación de gases, ya que estos al ser difundidos no tienden a depositarse, por lo contrario, estos se sitúan en la atmósfera, convirtiéndose en agregados simples o complejos o también en partículas líquidas o sólidas, incluyendo el polvo, cenizas y humo. Oscilan entre 500 y 0.0002 micras, las que tienen mayor tamaño se depositan más rápido produciendo sus efectos junto a las fuentes de emisión, en cambio las que tienen tamaño medio se apartan más y se colocan a una determinada distancia de la fuente, y las de menor tamaño tienen un comportamiento casi similar a un gas, es decir que se encuentran suspendidas, son trasladadas por el viento a una distancia mayor (González, 2003).

1.2.2.3. Según su composición química

1.2.2.3.1. Orgánicos

Aquellos que están formados de hidrógeno y carbono como son los compuestos nitrogenados, hidrocarburos, aldehídos, ácidos, éteres, alcoholes, cetonas, azufrados, los cuales se encuentran entre los principales (González, 2003).

1.2.2.3.2. Inorgánicos

Aquellos compuestos que no están formados con carbono, a excepción del monóxido de carbono (CO), y dióxido de carbono (CO_2), así como también las partículas metálicas, sales, ácidos, bases, óxidos de nitrógeno y azufre, (González, 2003).

1.2.2.4. Clasificación fisiológica

De acuerdo con la clasificación de Villegas, (1999) el cual toma en cuenta los efectos dominantes sobre la salud de los seres vivos sometidos a exposición, se ha formulado la clasificación siguiente:

1.2.2.4.1. Irritantes

Son sustancias corrosivas que intervienen sobre las mucosas; la concentración del contaminante provoca un efecto mayor que la duración a la exposición, puede actuar inmediatamente como el amoníaco (NH_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4), formaldehído (CH_2O), o de efectos retardados o crónicos como el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el ozono (O_3).

1.2.2.4.2. Asfixiantes

Podrían ser usualmente sustancias no tóxicas, pero al encontrarse en grandes concentraciones estas desplazan el oxígeno (O), como por ejemplo los asfixiantes simples (dióxido de carbono, metano, etano), o asfixiantes químicos, los cuales obstaculizan en los procesos de intercambio de oxígeno que se da en el organismo (el ácido cianhídrico, monóxido de carbono, el nitrobenzeno).

1.2.2.4.3. Narcóticos y Anestésicos.

Los narcóticos producen inconsciencia, en cambio los anestésicos reducen o quitan la sensibilidad. Otros que están son el éter y las cetonas de hidrocarburos alifáticos.

1.2.2.4.4. Tóxicos sistemáticos

Estos atacan preferentemente un sistema o grupo de órganos, pocos de estos se desechan fácilmente del organismo como los insecticidas orgánicos fosforados, y otros son eliminados o acumulados con gran lentitud como por ejemplo los hidrocarburos clorado y el plomo.

Algunos de los contaminantes, han tenido que ser normalizados, debido a los daños que pueden causar en la salud de la población, por lo que se han establecido límites máximos que se pueden concentrar en el aire del ambiente. Estos contaminantes se los denomina como criterio, forman parte de este grupo el ozono, bióxido de azufre, monóxido de carbono, bióxido de nitrógeno y las partículas suspendidas inferiores a 10 y a 2.5 micrómetros (PM10 y PM2.5). En general todos estos contaminantes son los que más se estudian en las redes de monitoreo de la atmosfera en las ciudades principales del planeta.

1.3. Material Particulado

Se denomina partículas o material particulado atmosférico a toda sustancia excepto el agua pura que está presente en la atmósfera ya sea en estado líquido o estado sólido y bajo condiciones normales, el tamaño comprendido oscila entre 0.002 y 100 micrómetros de diámetro. El límite menor de este rango no está definido claramente, debido a que no existe aún un criterio aceptado al momento de que un conjunto de moléculas forma una partícula, pese aquello se ha medido partículas de 0.002 μm . El límite superior se refiere al tamaño de la arena fina o de gotas de llovizna (Salvador, 2005).

El termino aerosol y partícula generalmente se utiliza de manera indistinta, refiriéndose a los aerosoles como una suspensión prácticamente estable de partículas sólidas y liquidas en un gas, así la diferencia esencial es el medio gaseoso del que forman parte las partículas.

1.3.1. Composición del material particulado

La estructura química de las partículas que están presentes en diferentes rangos de tamaño tiene sus características propias y específicas en relación con los diferentes procesos de formación. Estos pueden estar en función del tipo de mecanismo, los cuales pueden ser de origen natural o producido por las actividades humanas, a la vez según la fuente de origen, esta se subdivide en primario o secundario (Salvador, 2005).

Según la IPCC, (2001), $3.4 \cdot 10^9$ t/año son las emisiones globales estimadas, dentro de las cuales se considera que un 84% ($2.9 \cdot 10^9$ t/año), son emisiones primarias naturales y un 10% ($0.37 \cdot 10^9$ t/año) pertenecen a las emisiones antropogénicas, de las que el 85% son de partículas secundarias ($0.26 \cdot 10^9$ t/año) lo que da referencia de cuán importante. A pesar de que puede parecer que las emisiones producidas por las actividades humanas no tienen

relevancia en comparación a las naturales, se debe tomar en cuenta que sus fuentes de emisión están ubicadas en ambientes industriales y urbanos, mientras que las emisiones de partículas naturales están más dispersas por todo planeta. Por ello su influencia que tiene sobre el ser humano es mayor, tomando en consideración que más del 60% de la población a nivel mundial viven en urbes y aglomeraciones. Cabe recalcar que la determinación de la composición química es primordial, debido a que los componentes químicos presentes en mayor porcentaje en una determinada muestra de materia particulada muestran la composición de las fuentes que afectan el área de medida.

1.3.2. Fuentes del material particulado

A continuación, se describe las fuentes más importantes de partículas tanto naturales como las producidas por las actividades humanas, de acuerdo con sus características de emisión y su estructura química de las partículas que las originan. Por lo que la porción secundaria de partículas se forma en base a reacciones complejas que ocurren en la atmósfera, forma parte de esto diferentes gases precursores, mismos que podrían ser de origen natural o antrópico.

1.3.2.1. Emisiones naturales primarias.

Por lo general se toma en consideración que las fuentes principales naturales de materia particulada de tipo primario son la resuspensión de las erupciones volcánicas, del polvo del suelo, las emisiones biogénicas y el aerosol marino. En este material particulado primario sobresale la fracción mineral, también llamada "crustal", debido a su relación con las partes de la corteza de la tierra, cuyos orígenes están en las emisiones naturales fugitivas de la superficie. Como bien se conoce, el viento forma partículas en la superficie de la tierra debido a la erosión y consecuencia de la fricción de los materiales que la conforman. Todas estas partículas son insertadas en la atmósfera mediante procesos de resuspensión de polvo terrestre a causa del viento y de procesos convectivos originándose en el acelerado calentamiento terrestre provocado por la radiación solar (Salvador, 2005).

La estructura mineralógica y química de estas partículas van a variar de una región a otra, esto va a depender de las composición y características de los suelos, pero por lo general está compuesta por cuarzo, calcita, dolomita, feldespatos, arcillas (principalmente illita, y caolinita), y cantidades bajas de sulfato cálcico dihidratado o yeso y óxidos de hierro (hematita, magnetita, entre otros). Estas partículas se caracterizan porque predomina una granulométrica gruesa,

aunque pueden hallarse en la atmósfera partículas minerales en la categoría de las finas, esto va a depender de la velocidad de viento (Alfaro. et al., 1998).

1.3.2.2. Emisiones antropogénicas primarias.

Las fuentes principales de emisión de origen antropogénico están relacionadas con todo tipo de infraestructuras de combustión (industrial, central térmicas, comerciales o residenciales) para generar energía y con el movimiento vehicular. A demás se pueden producir enormes emisiones por actividades industriales, construcción, minería o cantería, agrícolas incluyendo la combustión de biomasa, incendios forestales u otros. Emitiendo a la atmósfera gran parte de metales en forma de partículas debido a este tipo de procesos o actividades realizadas por el hombre (Nriagu y Pacyna, 1998).

En los procesos de quema se originan emisiones de fragmentos del material, que resulta de una combustión incompleta. Dichas emisiones están conformadas primordialmente por material que contiene carbono el cual está en la categoría de tamaño de partículas finas. En su mayoría se encuentra carbono elemental, conocido también como carbono negro o grafitico debido a su color negruzco, el cual viene a ser una emisión primaria. También se emiten varios agregados carbonaceos comprendidos en el término carbono orgánico. Estos pueden ser formados por condensación de elementos de baja volatilidad el cual es resultado de la fotooxidación de algunos hidrocarburos (Salvador, 2005).

Debido a esto las fuentes fijas de combustión para la producción de energía han sido la mayor fuente de partículas en suspensión esto se debe al gran consumo de combustibles fósiles, primordialmente del carbón. Las centrales térmicas de carbón de precipitadores electrostáticos tienen una eficiencia de retención de partículas entre el 99.0% y el 99.8%, incorporado la calidad y tipo del combustible usado, primordialmente el gas natural en las centrales de ciclo combinado ha producido una reducción considerable en la generación de partículas. Pero aún se producen emisiones significativas en forma de cenizas volátiles esto se debe a las grandes cantidades de combustible consumido de forma incesante (Querol. et al., 1996). También pueden constituir una importante fuente de partículas ya sea en naciones o regiones en donde el consumo de carbón de baja calidad que se utiliza en la industria o para el uso doméstico, donde su implementación sea habitual.

1.3.2.3. Partículas secundarias

En la atmósfera puede ocurrir una sobresaturación de una cadena de géneros condensables, a partir de reacciones químicas que se dan, estos dan origen a productos de vapores con una presión baja. Donde permite un cambio de masa de la fase gaseosa a la condensada es lo que se conoce como procesos de conversión de gas a partícula. Se la llamara nucleación homogénea si estos procesos forman partículas nuevas por condensación y estos crecerán por coalescencia. En cambio, será nucleación heterogénea si la condensación se origina sobre partículas que ya existían. En los dos casos se producirán un incremento en la masa de las partículas por unidad de volumen, pero sólo en la nucleación homogénea se originará un incremento en el número de partículas por unidad de volumen (Salvador, 2005).

Todos estos procesos están relacionados a las reacciones químicas que se dan en la atmósfera, en las cuales interviene los gases reactivos (entre los principales están el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y distintos vapores orgánicos), por lo que las partículas secundarias formadas pueden ser orgánicas e inorgánicas. Las partículas secundarias tienen su importancia en que por un lado forman parte importante de las partículas de origen antropogénico y por otro lado estas están contenidas en gran parte dentro del rango de tamaño de partículas finas (Salvador, 2005).

1.3.2.3.1. Compuestos inorgánicos secundarios.

Por lo general los elementos inorgánicos secundarios con mayor abundancia en el aerosol atmosférico (pequeñas partículas líquidas y/o sólidas suspendidas en el aire) son, los cloruros, los nitratos y los sulfatos. Los compuestos inorgánicos secundarios que aparecen con mayor frecuencia en las partículas líquidas y/o sólidas suspendidas en el aire (aerosol atmosférico), son el ácido sulfúrico (H_2SO_4), sulfato amónico ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), nitrato amónico (NH_4NO_3), y bisulfato amónico o letovicita (Harrison y Van Grieken, 1998).

Los sulfatos se forman a partir del dióxido de azufre (SO_2), el cual podría ser directamente emitido a la atmósfera naturalmente, por ejemplo en las emisiones volcánicas, las cuales se pueden establecer por reacciones en las que actúan los radicales hidroxilos u otros compuestos que contengan azufre los cuales pueden venir de la corteza terrestre o del océano y de la flora (principalmente sulfuro de hidrogeno (H_2S), dimetilsulfuro ($\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$), sulfuro de carbono (CS_2), sulfuro de carbonilo (COS), metilmercaptano (CH_4S) entre otros). Por otro lado, las emisiones de origen antrópico de dióxido de azufre (SO_2), se originan primordialmente en los procesos de

combustión de material fósil como el carbón, biomasa o petróleo. Por lo general se dice que el dimetilsulfuro proveniente de la actividad de los microbios, y algas en el plancton marino, siendo este el mayor productor natural del dióxido de azufre, mientras que la principal fuente de origen antrópico es la quema de combustibles fósiles.

1.3.2.3.2. Compuestos orgánicos secundarios.

Las principales fuentes pioneras de aerosoles orgánicos secundarios son de elementos biogénicos, las cuales se originan en las magnas áreas boscosas, en las cuales cantidades representativas de compuestos orgánicos volátiles (VOC) son generadas al momento de la transpiración de la flora. Se estima que 400 compuestos orgánicos volátiles son emitidos por la flora incluyendo aldehídos, ácidos orgánicos, cetonas, y alcoholes (Graedel, 1979). Si algunos de estos vapores orgánicos se oxidan dan lugar a gases con bajas presiones de vapores formando a través de procesos de nucleación partículas, mismas que al formarse se hallan dentro del rango de partículas finas.

Ciertas investigaciones y aproximaciones apuntan a una contribución no despreciable de estos compuestos al aerosol atmosférico no solamente en zonas forestales sino además en su área de influencia (IPCC, 2001). En cambio, las fuentes de origen antrópico de compuestos orgánicos volátiles (VOC) se encuentran como las más relevantes la manipulación y combustión de material fósil y la combustión de biomasa. Odum. et al., (1997), menciona que los hidrocarburos no metánicos aromáticos originarios de la gasolina también son importantes pioneros de aerosoles orgánicos de origen secundario. Por otra parte, Forstner. et al., (1997), identifican los procesos de oxidación fotoquímica de hidrocarburos aromáticos de origen antrópico, como precursores de compuestos de furandianos. Para todos estos casos, los procesos químicos involucrados en la contribución de aerosol atmosférico (pequeñas partículas líquidas y/o sólidas suspendidas en el aire), aún no están claramente identificados.

1.3.3. Efectos del Material Particulado

1.3.3.1. Efectos sobre la flora y fauna

La contaminación del aire puede perturbar a la flora en distintas magnitudes. A nivel de la superficie, por ejemplo, por debajo del umbral, no existen efectos, tales como daño visible, efectos crónicos acumulativos, cambios graduales en la composición o afectación a nivel

genético en la comunidad florística. Pero aun así en este nivel, se pueden almacenar contaminantes en la flora, y de esa manera puede introducirse en la cadena trófica y provocar una alteración a los animales que consumen estas plantas (Martin, 2005).

Las plantas pueden adquirir directamente los contaminantes, ya sea por medio del intercambio gaseoso con la atmosfera o a su vez por la humedad absorbida del suelo. El suelo al estar expuesto a contaminantes del aire, estos pueden disolverse en el suelo y el agua. Como son los contaminantes ácidos del aire, los cuales tienen la capacidad de disolverse con facilidad en la humedad superficial o en la precipitación. Aunque la fuente de contaminación del aire sea movida, los materiales contaminantes aún pueden encontrarse en el suelo afectado así el desarrollo de la vegetación, a pesar de que con el tiempo estos se disuelven y se separan debido a la lixiviación junto con la lluvia (Martin, 2005).

El ingreso de contaminantes de gases es más directo en las plantas ya que estos ingresan por medio de los estomas abiertos de las hojas de la vegetación. Los contaminantes, una vez dentro de la planta entran en el tejido vegetal y se disuelve en el agua intercelular, como resultado se produce un ataque dentro de la hoja a nivel de la estructura celular. La principal razón por la que los contaminantes del aire son más tóxicos se debe a la capacidad de solubilidad tengan estos, ya que mientras más solubles sean mayor será su toxicidad (Martin, 2005).

Las partículas menos toxicas para las plantas son las sólidas, debido a que estas partículas se sitúan en la superficie dura y cerosa de las hojas de las plantas y es donde se disuelven con la humedad depositada para poder ingresar al interior de la planta por medio de los poros o zonas dañadas de la superficie de la hoja. Pocas partículas suelen disolverse en la cera de la superficie, para posteriormente penetrar en la planta. De esta forma, el efecto ocasionado por la materia particulada es más localizado y no logra dañar por completo la estructura de la hoja, a diferencia de los contaminantes gaseosos. De la misma forma los contaminantes formados por partículas sólidas entran en la cadena trófica, siempre y cuando la vegetación sea consumida por los animales (Martin, 2005).

1.3.3.2. Efectos sobre los materiales

Los contaminantes aéreos también dañan los materiales como por ejemplo piedras, pintura, vidrio teñido, ladrillos, materiales de fibras, entre otros. Los efectos dañinos por partículas pueden palparse en urbes e industrias, donde las edificaciones de piedras y ladrillos ligeramente pintadas toman un color característico negro. El deterioro de la construcción sobre edificaciones de gran valor histórico y arquitectónico es verdaderamente grave en ciertas urbes de Europa,

como por ejemplo la Colonia (Alemania), es una de las grandes catedrales de Europa misma que está edificada de arenisca, actualmente muestra signos de un deterioro rápido. En Grecia por ejemplo la Acrópolis de Atenas se ha destruido más en los últimos cuarenta años en comparación a los 2500 años anteriores. Otros materiales que sufren un deterioro ocasionado por la contaminación del aire son las ventanas de cristal teñido. También otras consecuencias que se pueden mencionar debido a la contaminación aérea es el rápido deterioro de la ropa, madera, cortinas, la ruptura de obras de pintura y el ensuciamiento de los metales (Martin, 2005).

1.3.3.3. Deterioro de la visibilidad

Está relacionado principalmente con las concentraciones de las partículas, y en especial con las de tamaño menor, pero ésta por lo general está acompañada por altos niveles de otros contaminantes. La bruma urbana es el resultado de la presencia de concentraciones altas de contaminantes presentes en el aire, misma que con el pasar del tiempo se ha percibido con mayor frecuencia en las grandes ciudades (Martin, 2005).

1.4. Material particulado (PM₁₀)

El PM₁₀, denominado así por sus siglas en inglés corresponde a partículas pequeñas líquidas o sólidas resultado de emisiones directas y/o reacciones atmosféricas de contaminantes que son generadas por varias fuentes. Este tipo de partículas pueden venir de origen natural o antrópico como por ejemplo el polvo que es transportado por el aire, emisión volcánica, la combustión de vehículos y la emisión del proceso industrial, entre otros (Seinfeld y Pandis, 2006).

El material particulado respirable (PM₁₀), constituye la masa de las partículas que ingresan en el sistema respiratorio de un organismo, incluyendo partículas gruesas (oscilan entre 2,5 y 10 μ) y finas (menores de 2,5 μ , PM_{2,5}) a los cuales se le atribuye tener grandes efectos sobre la salud humana los cuales ya han sido observado en los entornos de las ciudades. Las partículas gruesas se forman a través de procesos mecánicos, como por ejemplo las obras de construcción, la re-suspensión del polvo de las vías y el aire, en cambio las partículas finas se originan mayormente de las fuentes de combustión (WHO, 2005).

1.4.1. Principales fuentes de generación de PM_{10}

Las fuentes principales de generación de materia particulada pueden ser de origen natural o antropogénico, esto se muestra en la figura 3-1.

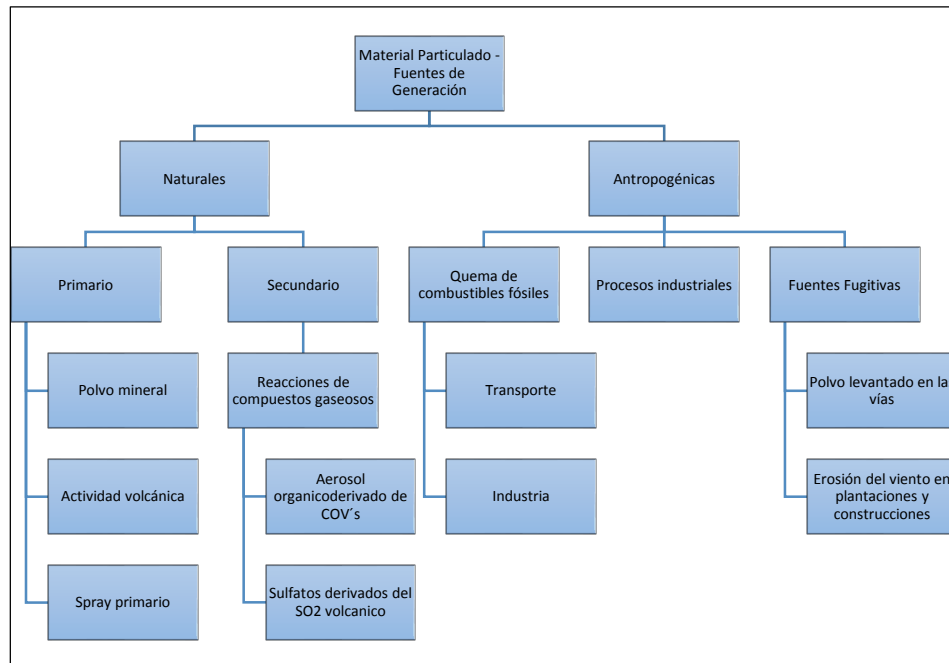


Figura 3-1. Fuentes de generación de PM_{10}

Fuente: González, (2012)

El material particulado es uno de los subproductos producidos por la ignición de combustibles fósiles. En este proceso se toma en consideración la composición del combustible, el tipo de catalizador, el tipo de maquinaria, y las condiciones en las que reaccionan. El material particulado originario de los combustibles fosilizados, suelen caracterizarse por tener esencialmente sustancias orgánicas (por lo general lubricantes e hidrocarburos no quemados), combinación de partículas carbonatadas llamadas soot (primordialmente carbono elemental y orgánico), sulfatos y agua. En esta mezcla la fracción de soot está en mayor cantidad con respecto a los sulfatos y el agua, esto se genera debido a la incompleta combustión que se da con el hidrocarburo (González, 2012).

1.4.2. Efectos en la Salud

Según la US-EPA (2009), la exposición al material particulado (PM_{10}), sea este a corto o largo plazo, se ha relacionado con muertes y enfermedades a causa de la aparición de problemas del corazón y de los pulmones. Exponerse a altos niveles de material particulado ocasiona problemas en la salud humana que aumentan paulatinamente. El riesgo puede ir desde la irritación de las vías respiratorias, tos, dificultades para respirar, mal funcionamiento de los pulmones, asma agravada, puede desarrollarse bronquitis crónica, ritmo cardíaco, infartos no letales y hasta la muerte prematura en individuos que tengan problemas cardíacos y pulmonares. Estas patologías han sido confirmadas mediante varias investigaciones realizadas a lo largo del tiempo.

1.4.3. Influencia de las variables meteorológicas en la contaminación atmosférica por PM_{10}

Las variables atmosféricas muestran fuertes influencias al momento del transporte y dispersión de los contaminantes. Por tanto, la legislación y planificación de un estado deben considerar su comportamiento para tomar decisiones en un futuro. Así, la presión atmosférica, la temperatura, la orientación y velocidad del viento, el grado de humedad, las lluvias y la irradiación solar, todas estas son variables meteorológicas que, al asociarse con las emisiones contaminantes, ocasionan efectos desfavorables sobre la salud y en la calidad del aire (OPS, 2006).

De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud, la meteorología se utiliza para la predicción del impacto ambiental de una fuente nueva de contaminación hacia la atmosfera y también permite determinar las consecuencias que tiene las modificaciones de las fuentes ya existentes en la calidad del aire, por ello es preciso ordenar y analizar las principales variables atmosféricas que tengan concentración de material particulado (OPS, 2006). Las variables atmosféricas de gran importancia son las siguientes:

- **Dirección y velocidad del viento.** La dirección del viento nos da la ubicación en la cual se propagan y se trasladan los contaminantes en el viento. Por otro lado, la velocidad del aire opera como un factor de transferencia y controla la dispersión de contaminantes meteorológicos como la materia particulada. En el análisis de la existencia de posibles fuentes de contaminación meteorológica en una zona determinada, todas estas variables son relevantes, ya que también pueden servir para determinar las condiciones de estabilidad meteorológica a más del grado en el que se estarían disipando contaminantes como la materia particulada en el aire.

- **Temperatura y Presión atmosférica.** son de importancia estas variables debido a que utilizan para corregir las concentraciones del material particulado de medios de referencia a un medio estándar, y de esa manera poder contraponer con la normativa establecida por un país. Asimismo, se pueden asociar los movimientos del aire con los de presión y la temperatura. La temperatura cumple también una función relevante en la generación de condiciones para formar contaminantes secundarios mediante reacciones de contaminantes primarios en el ambiente.
- **Humedad relativa y Precipitación.** estas variables se toman en consideración debido a que promueven la disminución en la concentración de contaminantes en la atmosfera, mediante la acción de métodos de purificación meteorológica.
- **Radiación solar.** la radiación solar en conjunto con la velocidad del viento, son los encargados de determinar la estabilidad atmosférica y la dispersión de contaminantes como el PM₁₀. Cuando la atmosfera se encuentra estabilizada, los contaminantes presentan una baja dispersión lo que resulta como consecuencia, es que estos incrementaran su concentración.

Un fenómeno natural vinculado con los contaminantes atmosféricos es la inversión térmica. Esto sucede cuando una capa de aire frío se sitúa por debajo de una capa de aire caliente, de esa manera impiden que los contaminantes se dispersen, se conserven y se acumulen junto al suelo, esto combinado con una disminución en la velocidad del viento permite que estas condiciones duren mucho más. La inversión térmica, es capaz de detener el aumento y el esparcimiento de contaminantes de la atmósfera (capas más bajas) y provocar un problema localizado de contaminación del viento. La cercanía de un área urbana grande a una formación montañosa puede ocasionar también un resultado negativo sobre todo en la difusión y el transporte de los contaminantes (Martínez. et al., 2007).

Diferentes estudios realizados sobre la valoración del material particulado 10, vinculados con las variables atmosféricas locales, han indicado los efectos que ya se mencionó con anterioridad. Diferentes autores, han demostrado que las partículas en el ambiente están afectadas por estas variables y la altura. Otros en cambio, han puesto mayor énfasis en el estudio de estas condiciones en la identificación del almacenamiento y transporte de diferentes contaminantes adsorbidos por el material particulado. Inclusive, la valoración de los elementos químicos del material particulado y su correlación con la constitución iónica de la precipitación a través de las relaciones de scavenging, han sido utilizadas como indicadores de las fuentes importantes locales de contaminantes en el aire (González & Aristizábal, 2012).

1.5. Material Particulado 2.5

El material particulado 2.5 ($PM_{2.5}$), puede ser de origen natural o antropogénico lo que influye en su constitución y tamaño. Las partículas generalmente se emiten de forma directa a partir de una fuente, como por ejemplo la construcción, carreteras sin pavimentar o chimeneas, las cuales son denominadas partículas primarias. En cambio, las partículas secundarias se crean a través de reacciones complejas que se dan con los compuestos químicos del aire y son los que forman la mayor parte del material particulado (EPA, 2009). Diversas fuentes del material particulado 2.5 ($PM_{2.5}$) y sus componentes se describen en la tabla:

Tabla 3-1. Fuentes de generación de $PM_{2.5}$

Polvo del Suelo	Al, Si, Ca, K
Mar	Cl
Emisiones del motor de vehículos	Pb, Br
Combustión y Refinería de aceite	Ni, V
Quema de leña	K
Tráfico vehicular	CO, Fe, NH_4
Planta de cemento	Ca, Al, Si, Fe, SO_4
Reservas minerales y plantas salinas	K, Ni, Zn, Pb, SO_4

Fuente: EPA, (2009)

Las fuentes a las que más se ha estudiado son las relacionadas con las emisiones del tráfico vehicular, la quema de leña y carbón y los procesos manufactureros. El material particulado 2.5 es originalmente producido por las emisiones directas de diversos procesos de quema de combustibles fosilizados, con reacciones químicas originadas en el aire debido a gases pioneros como los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre, el amoníaco, los compuestos orgánicos volátiles, entre otros; todo esto se da a partir del proceso de condensación de los gases y desde el proceso de coagulación y nucleación de partículas finas (Cáceres, 2015).

1.5.1. Efectos en la salud debido a la exposición del material particulado 2.5 ($PM_{2.5}$)

Diversos estudios epidemiológicos tipo panel han dado a conocer el impacto del material particulado que afectan el sistema pulmonar, añadiendo el efecto variable sobre el aumento en la

reactividad bronquial y sobre la función respiratoria. Estos efectos adversos obedecen, por un lado, a la composición ambiental, concentración y a las características de la exposición que son magnitud, intensidad, frecuencia, y duración y por otro lado dependen, de cuan susceptibles sean los individuos expuestos, particularmente los niños y ancianos son los más susceptibles al efecto contaminante (Branis y Safranek, 2011).

La contaminación por el material particulado ($PM_{2.5}$), poseen partículas sólidas microscópicas las cuales pueden ingresar a los pulmones de manera profunda causando graves problemas con la salud. Estudios científicos han relacionado el material particulado con la muerte prematura, principalmente en personas que tienen enfermedades del sistema respiratorio y cardiaco, irregularidad de la frecuencia cardiaca, ataques cardiacos, agravación del asma, incremento de síntomas respiratorios y reducción de la función de los pulmones. Los individuos sanos podrían sentir síntomas por lapsos de tiempo prolongado debido a la sobreexposición de niveles altos de material particulado (EPA, 2009).

El diámetro aerodinámico de la partícula establecerá el nivel al que podría llegar en el sistema respiratorio, las que tiene un tamaño menor penetrarán hacia las zonas más distales, podrían llegar hasta los alveolos y de ahí pasarse al flujo sanguíneo debido a los procesos de difusión, formándose una bioacumulación y enfermedades o trastornos relacionadas a otras vías de entrada. Otros estudios han confirmado que el material particulado 2.5 afecta mayormente el sistema respiratorio y que este efecto toma vigor cuando las partículas transportan metales adsorbidos, y metales combinados (Cáceres, 2015).

Diversos estudios epidemiológicos, in vitro y en animales respaldan la hipótesis de que los metales cumplen un papel relevante en el daño del sistema pulmonar y cardiovascular provocado por el material particulado (MP). Pero el material particulado 2.5 muestra efectos agregados como por ejemplo problemas en la visibilidad debido a las concentraciones altas de partículas y a la capacidad de refracción y absorción de luz, problemas sobre la flora y fauna. Otros indicadores utilizados para valorar efectos de exposición al material particulado, sobre la cantidad de personas con enfermedades respiratorias han sido: un gran porcentaje de cambio en hospitalización debido a enfermedades respiratorias (iras, asma bronquitis, neumonía, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD), y función respiratoria), y en los niños y adultos por enfermedades cardiacas (Cáceres, 2015).

Hay mucha evidencia del desarrollo epidémico, que la concentración másica del material particulado no puede ser la medida más principal como un estándar del MP para resguardar el sistema respiratorio. Por lo general, las grandes y pesadas partículas contribuyen más a la concentración del MP ambiental a diferencia de las partículas pequeñas. Pero, las partículas

pequeñas, como el $MP_{2.5}$ y las partículas ultra-finas son más perjudiciales que las partículas grandes. Además, se puede evidenciar su peligrosidad debido al tamaño y la composición química del material particulado. Diversos componentes del material particulado son conocidos por producir una grave toxicidad en los tejidos expuestos como por ejemplo los metales de transición como el hierro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni) y cromo (Cr) (Aust. et al., 2002).

1.6. Legislación Ambiental – Calidad del Aire

1.6.1. Límites Máximos Permisibles

1.6.1.1. Material particulado menor a 10 micrones (PM_{10})

La media aritmética de la concentración del material particulado 10 (PM_{10}), del total de las muestras tomadas en un año no se deberá pasar de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La media aritmética de monitoreo continuo durante un lapso de 24 horas no deberá pasar $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se puede considerar sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado 10, cuando el percentil 98 de las concentraciones registradas durante un periodo anual (registros de datos cada 24 horas), en cualquier estación de monitoreo den como resultado un valor igual o mayor a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (TULSMA, 2015).

1.6.1.2. Material particulado menor a 2,5 micrones ($PM_{2.5}$)

La media aritmética de la concentración del material particulado 2.5 ($PM_{2.5}$), del total de las muestras de un año no deben pasar de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La media aritmética de monitoreo continuo durante un lapso de 24 horas no debe pasar de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se puede considerar sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado 2.5, cuando el percentil 98 de las concentraciones registradas durante un período anual (registros de datos cada 24 horas), en cualquier estación de monitoreo den como resultado un valor igual o mayor a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (TULSMA, 2015).

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 Zona de estudio

La presente investigación se realizó en cuatro terminales terrestre ubicadas dentro del perímetro urbano del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

2.1.1 Lugar de la investigación

El monitoreo de las concentraciones de PM_{10} y de $PM_{2.5}$ fue realizado en las siguientes terminales: terminal interprovincial, terminal intercantonal, terminal del barrio La Dolorosa y terminal oriental; el procesamiento y análisis de las muestras de material particulado se realizó en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental - CESTTA

2.2 Tipo de investigación

El trabajo investigativo es de tipo técnico, ya que se implementaron los procedimientos necesarios para realizar el monitoreo de material particulado y el conteo vehicular en las terminales en estudio, en función a los resultados obtenidos se plantearon alternativas ambientales para su control

2.2.1 Parámetros en estudio

- Concentración de material particulado – PM_{10} y $PM_{2.5}$
- Número de vehículos (vehículos livianos y pesados que entran y salen de las terminales)

2.2.2. Esquema del proceso

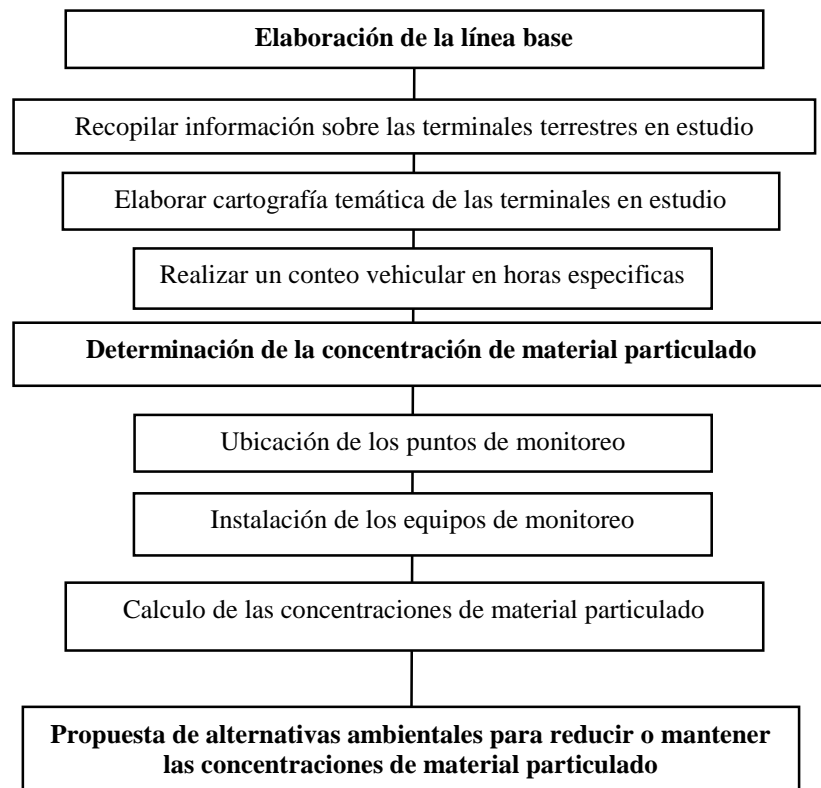


Gráfico 1-2. Esquema del proceso

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

2.2.2.1 Procedimientos

2.2.2.1.1. Elaboración de una línea base

La línea base se construyó en función a la información que se recolectó en cada una de las terminales evaluadas en este estudio, para esto se solicitó a cada una de las administraciones información referente a su funcionamiento, esta información se complementó mediante la captura de fotografías de las principales áreas que forman parte de cada una de las terminales.

Con el fin de tener una referencia vehicular que pueda ser comparada con las concentraciones de material particulado evaluado se realizó un conteo de vehículos en las horas pico y de menos circulación vehicular, la distribución del conteo se muestra en la tabla 1-2.

Tabla 1-2. Matriz para el conteo vehicular

Hora	T1	T2	T3	T4
8:00 a.m.				
10:00 a.m.				
12:00 p.m.				
17:00 p.m.				
19:00 p.m.				

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

2.2.2.1.2. Monitoreo del material particulado

2.2.2.1.2.1. Ubicación e instalación de las estaciones de monitoreo

Las estaciones monitoreo se ubicaron en sitios estratégicos de las terminales, de forma tal que el equipo pueda captar de manera eficiente las concentraciones de material particulado, en función a lo antes mencionado, con lo que respecta a la terminal interprovincial (Fotografía 1-2) y la terminal intercantonal al encontrarse en una estructura cerrada, las estaciones se ubicaron en un punto medio de la terminal ubicado entre las áreas de salida y llegada de los buses, para esto se tomó en cuenta los siguientes criterios: que el lugar de ubicación de los equipos tenga un acceso rápido y cómodo, que exista seguridad adecuada para la instalación de los equipos, ya que estos permanecieron durante 24 horas seguidas en el área de monitoreo y que sea una área despejada sin ningún tipo de obstrucción que limite el buen funcionamiento del equipo.



Fotografía 1-2. Ubicación e instalación de las estaciones de monitoreo en la terminal interprovincial

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Con lo que respecta a la terminal del barrio la dolorosa y la terminal oriental el criterio fue el mismo, pero se tuvo que tener en cuenta que estas terminales cuentan con una estructura abierta misma que porfa parte de la calle donde estas se ubican, además estas áreas solamente se utilizan para la salida de los buses, los puntos de llega se ubican en los alrededores de cada una de las terminales.

2.2.2.1.2.2. Recolección de muestras

Para la recolección de las muestras se utilizó el método Gravimétrico, mediante muestreador de alto caudal, para esto se utilizaron el Appendix J to part 50 – Reference Method for Determination of Particulate Matter as PM in the atmosphere, la cual establece la guía general para toma de muestras de material particulado (Ambiente, 2015). Se utilizó el muestreador de gran volumen de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, equipo validado para la recolección de Material Particulado menor a 10 y 2,5 micras.

2.2.2.1.2.3. Evaluación de las muestras recolectadas

Material Particulado (PM_{10})

- **Nombre:** Método Gravimétrico, mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal.

- **Referencia:** 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix M.
- **Descripción:** el equipo muestreador, de alto caudal o de bajo caudal, estará equipado con una entrada aerodinámica capaz de separar aquellas partículas de tamaño superior a 10 micrones de diámetro aerodinámico. Las partículas menores a 10 micrones serán captadas en un filtro, de alta eficiencia, y la concentración se determinará mediante el peso ganado por el filtro, dividido para el volumen total de aire muestreado en un período de 24 horas continuas cada seis días como mínimo (Ambiente, 2015).

Material Particulado (PM_{2,5})

- **Nombre:** Método Gravimétrico, mediante muestreador de bajo caudal.
- **Referencia:** 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix L.
- **Descripción:** el equipo muestreador, de bajo caudal, estará equipado con una entrada aerodinámica capaz de separar aquellas partículas de tamaño superior a 2,5 micrones de diámetro aerodinámico. Las partículas menores a 2,5 micrones serán captadas en un filtro, y la concentración se determinará mediante el peso ganado por el filtro, dividido para el volumen total de aire muestreado en un período de 24 horas (Ambiente, 2015).
-

2.2.2.1.2.4. Determinación de la concentración de material particulado

El procedimiento para el cálculo de la concentración consto de tres pasos, mismos que se describen a continuación

Paso 1. Calculo del material particulado

El cálculo de la cantidad de material particulado que se encuentra retenido en el filtro se calculó a partir de la tasa media de flujo (Q_{std}) obtenida durante la toma, para esto se aplicó la ecuación que se describe a continuación:

$$Q_{std} = Q_a * \frac{P_{av}}{T_{av}} * \frac{T_{std}}{P_{std}}$$

(Ecuación 1)

Donde:

Q_{std} = tasa media de flujo en condiciones de referencia de la EPA, $\text{std m}^3 / \text{min}$

Q_a = velocidad media de flujo en condiciones ambientales, m^3 / min

P_{av} = presión barométrica promedio durante el período de muestreo o la presión barométrica promedio para el sitio de muestreo, en kPa (o mm Hg)

T_{av} = temperatura media del ambiente durante el período de muestreo, °K

T_{std} = temperatura estándar, definida como 298 °K

P_{std} = presión estándar, definido como 101,3 kPa (o 760 mm Hg).

Paso 2. Cálculo del volumen de aire

El cálculo del volumen aire se realizó con la siguiente ecuación:

$$V_{std} = Q_{std} * t$$

(Ecuación 2)

Donde:

V_{std} = total de aire muestreado en unidades de volumen estándar, std m^3 ;

t = tiempo de muestreo, minutos

Paso 3. Calculo de la concentración de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$

La concentración se determinó a partir de la siguiente ecuación fórmula, misma que utiliza los pesos iniciales y finales de los filtros en conjunto con el volumen del aire muestreado:

$$P_{(10)(2.5)} = \frac{(Wf - Wi) * 10^6}{V_{std}}$$

(Ecuación 3)

Donde:

$P_{(10)(2.5)}$ = concentración en masa de $P_{(10)(2.5)}$, $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ std}$

Wi = peso inicial del filtro

Wf = peso final del filtro 10^{-6} = conversión de g a μg

V_{std} = volumen total muestreado en condiciones estándar

De manera complementaria se realizó una estimación de las concentraciones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ a partir de la implementación de los factores de emisión, mismos que estiman las concentraciones de los contaminantes tanto de fuentes móviles y fijas, para esto se utilizó los factores establecidos por el Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente y la ecuación establecida en el documento “Metodologías para la estimación de emisiones de transporte urbano de carga y guías para la recopilación y organización de datos” la cual se describe a continuación:

$$E = F * K * FE$$

(Ecuación 4)

Donde:

E = Emisión del contaminante

F = Número de vehículos

K = Distancia recorrida por los vehículos

FE = Factor de emisión para el tipo de vehículo

2.2.2.1.3. Propuesta de alternativas para mantener y disminuir las concentraciones de material particulado monitoreadas en las terminales en estudio.

En función a las concentraciones de material particulado que se registraron en cada una de las terminales en estudio se propondrán alternativas ambientales que permitan si fuese el caso de estar por debajo de los límites máximos permisibles mantener las mismas en el corto plazo y para el mediano y largo plazo disminuir dichas concentraciones, de sobrepasar los límites máximos se enfocara en proponer acciones inmediatas que permitan disminuir las concentraciones registradas, en ambos casos el objetivo principal es precautelar la salud de las personas que ocupan, trabajan o se encuentran dentro del área de influencia de las terminales.

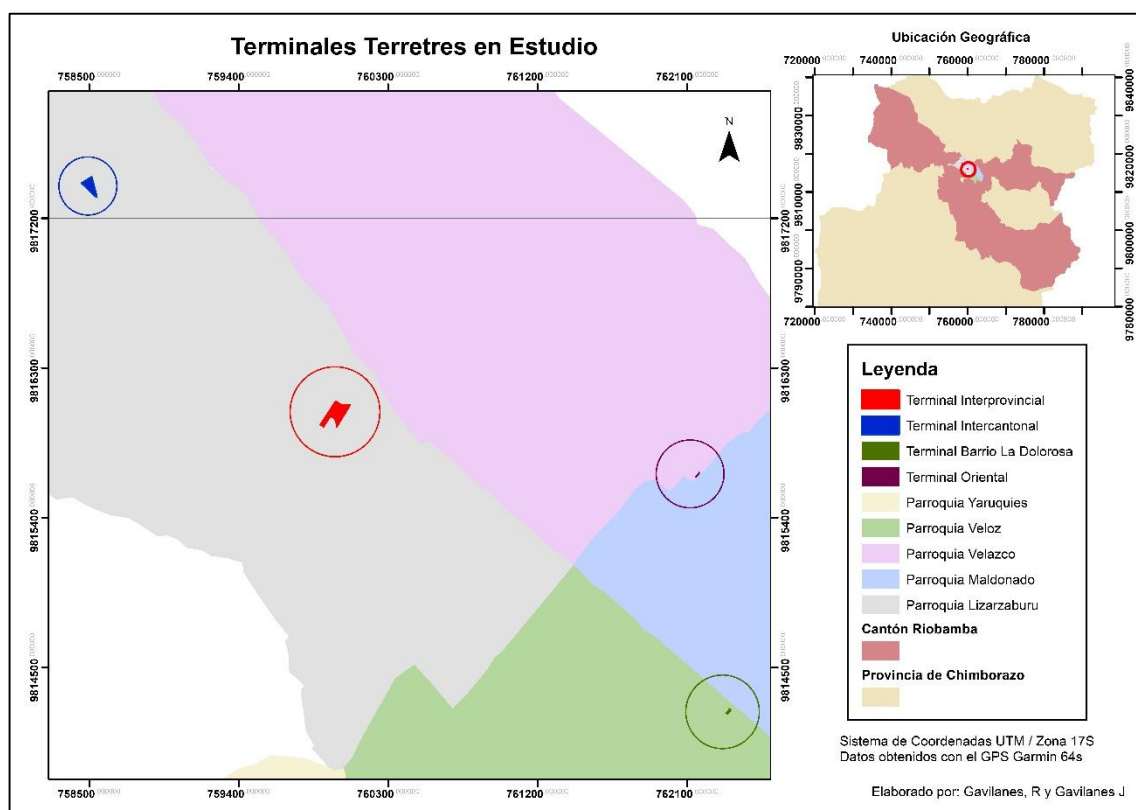
CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Línea Base de las terminales en estudio

3.1.1. Información General

Las cuatro terminales terrestres en estudio son: la terminal interprovincial, la terminal intercantonal, la terminal oriental y la terminal del barrio la dolorosa, mismas que se encuentran ubicadas dentro del perímetro urbano del cantón Riobamba (Mapa 1-3).



Mapa 1-3. Ubicación geográfica de las cuatro terminales en estudio, dentro del perímetro urbano

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

El acceso a las terminales está conformado por una amplia red de vías asfaltadas de primer orden, en conjunto con calles y avenidas de gran amplitud, construidas con un orden urbanístico estricto, el funcionamiento de las terminales está conformado por una extensa red de transporte público conformado por buses y taxis de las distintas cooperativas que prestan sus servicios a la ciudadanía, tanto a nivel interprovincial, intercantonal e interparroquial, la ubicación geográfica estratégica de la ciudad de Riobamba le transforma en un punto de interconexión primordial con la mayoría de las provincias ubicadas en la costa sierra y oriente del país.

3.1.1.1. Situación geográfica

El cantón Riobamba se encuentra ubicado a 2750 metros sobre el nivel del mar, a 1° 41' 46" latitud Sur y 0° 3' 36" longitud Occidental del meridiano de Quito, se ubica a 188 km en dirección sur de la capital del Ecuador, en la zona sierra-centro y es la capital de la provincia de Chimborazo.

El cantón tiene los siguientes límites.

- **Norte:** Cantones de Guano y Penipe
- **Sur:** Cantones de Colta y Guamote
- **Este:** Cantón Chambo
- **Oeste:** Provincia de Bolívar

En lo que respecta a la ciudad de Riobamba, está se conforma de 5 parroquias urbanas: Maldonado, Veloz, Lizarzaburu, Velasco y Yaruquies; el resto del cantón se divide en once parroquias rurales: San Juan, Licto, Calpi, Quimiag, Cacha, Flores, Punin, Cubijies, Licán, San Luis y Pungala (PDOT, 2015).

3.1.1.2. Climatología

El clima en el Cantón Riobamba generalmente es frío, esto debido a su ubicación geográfica en el centro del callejón interandino, con lo que respecta a la ciudad de Riobamba es de tipo ecuatorial mesotérmico seco, la temperatura que se registra está en función a la información obtenida por la estación meteorológica que funciona en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, misma que indicó, que los meses de Enero, Febrero y Noviembre son los que

tienen la mayor temperatura promedio, por lo tanto son los meses donde se tiene una mayor captación de rayos solares, por su parte son los meses de Junio, Julio y agosto los que reportaron menores grados de temperatura, con un promedio anual para el cantón de 13,4 °C, con lo que respecta a la variación de temperatura es de 11 °C – 19 °C, con mínimas de 5 °C a 8 °C por la mañana y a la madrugada, y una máxima de 23 °C a la mitad de la mañana, por consecuencia del viento y la humedad relativa se tiene un cambio en la sensación térmica en dos días diferentes donde la temperatura sea igual, la velocidad del viento promedio anual es de 2.1 metros/segundo, con una dirección Sur Este (PDOT, 2015).

3.1.1.3. Geomorfología y topografía

A nivel de la región esta área esta denominada como depresión interactiva, se caracteriza por tener un hundimiento tectónico limitado por fallas longitudinales con una dirección norte-sur, aquí se encuentra ubicada la altiplanicie de Tapi en un rango altitudinal que va desde los 2500 a 3000 metros sobre el nivel del mar, en este lugar se asienta la ciudad de Riobamba, misma donde predominan montañas cuyas cimas son planas o redondeadas (Untuña, 2011).

La topografía de la ciudad es bastante regular, presenta un plano inclinado cuya parte superior se ubica en el noroeste, misma que desciende hasta el sureste mostrando una pendiente media del 5%, donde se identifica dos elevaciones principales: la loma de quito y el sector de la salida a guano, además en la parte sur y oriente de la ciudad pasan los ríos Chibunga y Chambo. A nivel general se encuentra rodeada por una topografía accidentada conformada por montañas y nevados, siendo el más representativo el volcán inactivo Chimborazo (Untuña, 2011).

3.1.2. Terminales terrestres en estudio

3.1.2.1. Terminal Interprovincial

3.1.2.1.1. Características generales

Es la principal terminal de la ciudad de Riobamba ya que sus turnos son interprovinciales, tanto a la costa, sierra y oriente del país, siendo un paso importante para destinos como Quito, Guayaquil y Cuenca, se encuentra formada por una amplia estructura cerrada que es independiente de otras áreas (Fotografía 1-3), esta ocupa una superficie aproximada de 11414.6 m², posee una edificación principal donde en la parte interna se encuentran los servicios básicos,

así como las oficinas de cada una de las cooperativas, la parte externa de la infraestructura conecta a un área específica con andenes destinados al embarque de los pasajeros, esta zona además cuenta con varios puesto de comida.

Dentro del perímetro de la terminal también se tiene destinada un área específica con andenes para la llegada y aparcamiento de los buses, esta se encuentra contigua a la calle Epiclachima, además se permite el ingreso de vehículos públicos y privados los cuales tienen un área destinada para su estacionamiento. Durante los días de monitoreo se evidencio que en los alrededores de la terminal no existen otras fuentes de generación de material particulado que puedan influenciar en las concentraciones registradas dentro de la misma por los equipos. Con lo que respecta a los buses que forman parte de las cooperativas, los chasis en su mayoría pertenecen la marca HINO y en menor media circulan las marcas Scania, Mercedes Benz y Yutong, los años de fabricación de las unidades de transporte van desde el 2010 en adelante.



Fotografía 1-3. Áreas que conforman la terminal interprovincial

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

La terminal cuenta con 24 cooperativas en funcionamiento, con un total de buses en movimiento, el número de buses y destinos se describen en la tabla 1-3.

Tabla 1-3. Cooperativas de transporte terrestre que forman parte de la terminal interprovincial

Cooperativa	Turnos	Hora
Alausí	La cooperativa tiene un total de 25 turnos diarios, 18 al cantón Alausí, 3 a Huigra, 1 a Gonzol y 1 a Zuñag	Desde las 8:30 a.m. hasta 20:00 p.m.
Trans. Vencedores	La cooperativa tiene un total de 10 turnos diarios, 9 al cantón Quito y 1 al cantón Tulcán	Desde las 3:00 a.m. hasta 21:00 p.m.
Riobamba Express	La cooperativa tiene dos turnos diarios al cantón Quito	A las 2:30 a.m. y 7:15 p.m.
10 de noviembre	La cooperativa tiene un total de 4 turnos al cantón Guaranda	Desde las 7:30 a.m. hasta 20:00 p.m.
Chunchi	La cooperativa tiene un total de 9 turnos, 8 al cantón Chunchi y uno a la parroquia Llagos	De las 4:00 a.m. hasta las 18:30 p.m.
Riobamba	La cooperativa tiene un total de 45 turnos, 1 al cantón Milagro, 8 al cantón Santo Domingo, 2 al cantón Guayaquil, 3 al cantón Puyo, 5 al cantón Macas, 10 al cantón Tena, 8 al cantón Quito y 8 al cantón Baños	De las 3:45 a.m. hasta las 21:30 p.m.
22 de julio	La cooperativa tiene un total de 19 turnos a al cantón Ambato	De las 7:35 a.m. hasta las 19:35 p.m.
Condorazo	La cooperativa tiene un total de 26 turnos, 23 turnos al cantón Ambato, 3 al cantón baños y 1 al cantón Quito	De las 3:35 a.m. hasta las 18:50 p.m.
San Juan	La cooperativa tiene un total de 11 turnos al cantón Ambato	De las 6:20 a.m. hasta las 19:05 p.m.
Ecuador Ejecutivo	La cooperativa tiene un total de 25 turnos, 23 al cantón Quito y 2 al cantón Guayaquil	De las 1:00 a.m. hasta las 20:30 p.m.
Patria	La cooperativa tiene un total de 63 turnos, 2 al cantón Huaquillas, 2 al cantón Babahoyo, 1 al cantón Machala, 19 al cantón Quito, 27 al cantón Guayaquil, 2 al cantón Milagro, 7 al cantón Cuenca y 2 al cantón Chunchi.	De las 2:00 a.m. hasta las 22:30 p.m.
Chimborazo	La cooperativa tiene un total de 19 turnos, 14 turnos al cantón Quito y 5	De las 3:15 a.m. hasta las 19:00. p.m.

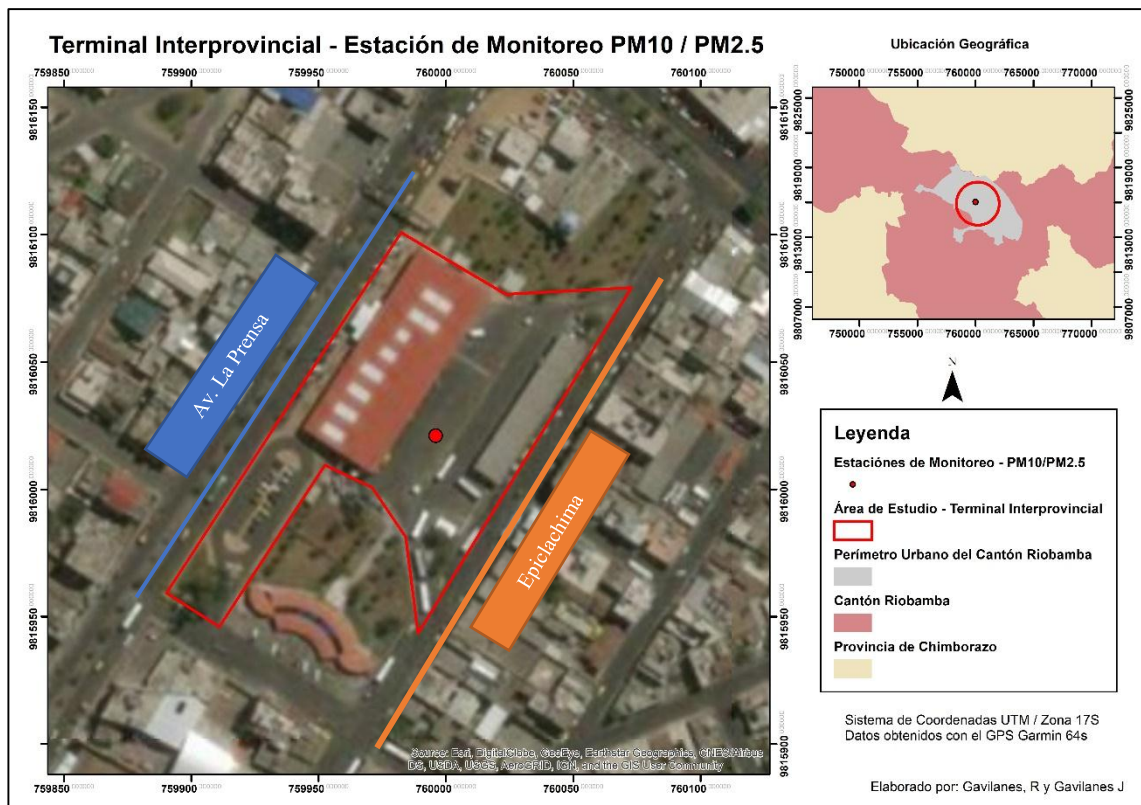
	turnos al cantón Guayaquil	
Flota Bolívar	La cooperativa tiene un total de 8 turnos, 2 a San Miguel, 2 a Chillanes y 4 a Guaranda	De las 5:00 a.m. hasta las 17:00 p.m.
Andina	La cooperativa tiene un total de 4 turnos al cantón Quito	De las 4:00 a.m. hasta las 08:20 p.m.
Atenas	La cooperativa tiene un total de 3 turnos, 1 al cantón Chillanes, 1 al cantón San Pablo y 1 al cantón Guaranda	De las 12:15 a.m. hasta las 19:00 p.m.
Colta	La cooperativa tiene un total de 13 turnos, 7 al cantón Milagro, 1 al cantón Alausí, 2 a la parroquia de Huigra y 3 a la parroquia San Carlos	De las 4:00 a.m. hasta las 16:15 p.m.
Panamericana Internacional	La cooperativa tiene un solo turno al cantón Huaquillas	A las 22:00 p.m.
Occidental	La cooperativa tiene 2 turnos al cantón Esmeraldas	A las 8:00 a.m. y a las 22:00 p.m.
Cevallos	La cooperativa tiene un solo turno al cantón Ambato	A las 14:05 p.m.
Sangay	La cooperativa tiene un total de 23 turnos, 10 al cantón baños, 4 al cantón Tena, 8 al cantón Puyo y 1 al cantón Macas	De las 3:00 a.m. hasta las 19:30 p.m.
Baños	La cooperativa tiene un total de 5 turnos, 3 al cantón Baños, 1 al cantón Lago Agrío 1 al cantón El Coca	De las 9:20 a.m. hasta las 21:00 p.m.
Express Baños	La cooperativa tiene un total de 3 turnos al cantón Baños	De las 9:40 a.m. hasta las 14:20 p.m.
San Francisco	La cooperativa tiene un solo turno al cantón Puyo	A las 18:45 p.m.
Unidos	La cooperativa tiene un total de 12 turnos, 3 al cantón Sucua, 4 al cantón Macas, 2 al cantón Tena, 1 al cantón Ambato y 2 al cantón Ibarra	De las 4:00 a.m. hasta las 23:00 p.m.

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.1.2.1.2. Ubicación geográfica del área de estudio y punto de monitoreo

La terminal se ubica en la parroquia Lizarzaburu, barrio Santa Faz entre la Av. La Prensa y Epiclachima, las coordenadas UTM donde se ubicaron las estaciones de monitoreo son (Mapa 2-3).:

X - 759996 / **Y** - 9816021



Mapa 2-3. Ubicación geográfica de la terminal interprovincial y su estación de monitoreo

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.1.2.1.3. Conteo Vehicular

En la tabla 2-3, se muestra el número de carros que ingreso a la terminal interprovincial, ingreso que se ubica en la calle Epiclachima, además se tomó en cuenta los vehículos que transitan por dicha calle.

Tabla 2-3. Conteo vehicular de la terminal interprovincial

Terminal Interprovincial					
Hora	Vehículos	Lunes	Miércoles	Viernes	Media
8:00 a.m.	Livianos	801	772	853	808
	Pesados	79	83	91	84
10:00 a.m.	Livianos	664	632	671	655
	Pesados	76	69	75	73
12:00 p.m.	Livianos	791	756	821	789
	Pesados	81	88	79	82
17:00 p.m.	Livianos	609	614	663	628
	Pesados	68	75	81	74
19:00 p.m.	Livianos	785	734	810	776
	Pesados	88	73	77	79

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

En el gráfico 1-3, se presenta la media de vehículos contabilizados por hora en los tres días de evaluación, en el mismo se observa que las 8:00 a.m. es la hora en la cual se tiene una mayor presencia vehicular, tanto de vehículos livianos como pesados, esta tendencia se repite para las 12:00 p.m. y 19:00 p.m., este comportamiento se debe a que las vías que rodean a la terminal sirven de conexión con instituciones educativas como el Colegio Experimental Riobamba y el Colegio , por lo que a estas horas la calle Epiclachima se transforma en una vía de desfogue para las personas que se dirigen al centro de la ciudad, este número de carros contrasta con las otras dos horas en las que se realizó el conteo, se observa un disminución considerable en el número de carros registrado tanto a las 10:00 a.m. cómo las 17:00 p.m.

Se debe tener en cuenta que el número de carros, a más de los buses que ingresan y los vehículos particulares que transitan por la calle, el valor registrado por hora está influenciado por los vehículos pertenecientes a la cooperativa de taxis y camionetas que prestan sus servicios a las personas que llegan a la terminal, por este motivo el flujo vehicular en esta calle es constante.

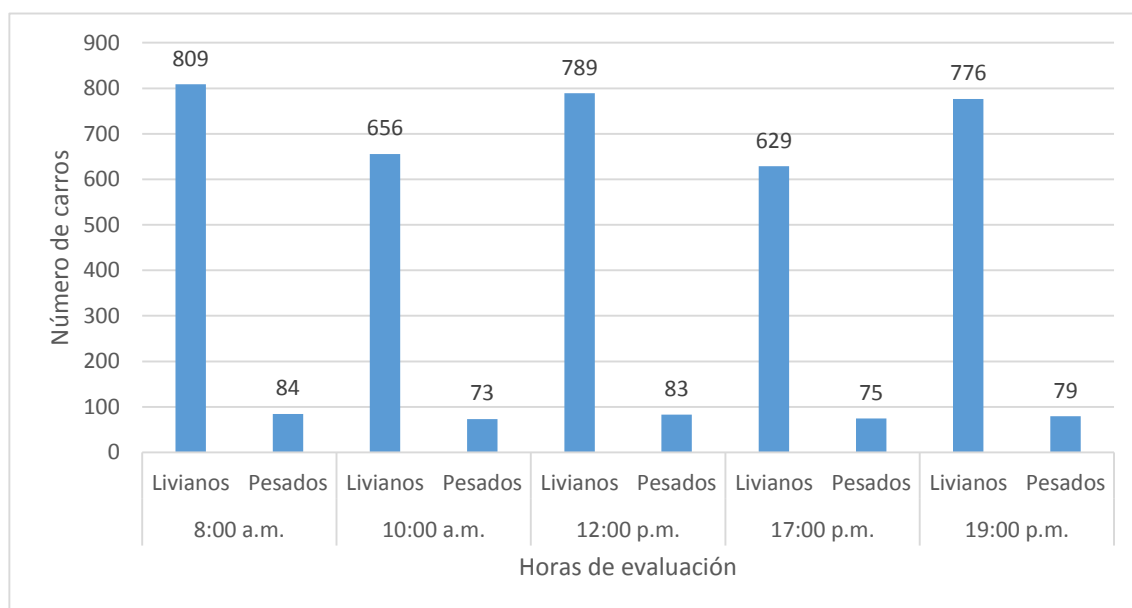


Gráfico 1-3. Promedio de vehículos registrados por hora de monitoreo – Terminal interprovincial

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

El gráfico 2-3 muestra el promedio de vehículos registrados en función a los días de monitoreo, se observa que el viernes es el que registro la mayor cantidad de carros, esto se debe a que en este día viajan los estudiantes de las Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y de la Universidad Nacional de Chimborazo a sus respectivas provincias, por lo que la afluencia de taxis aumenta, además en función a los requerimientos se aumentan los turnos de salida para satisfacer la demanda.

Otro aspecto para tener en cuenta es la llegada de personas que trabajan o estudian en otras provincias, razón por la cual este día es donde se registra una mayor actividad. Con lo que respecta a los otros días la diferencia no es notoria y el número de vehículos estará siempre en función del número de personas que lleguen o salgan de ciudad.

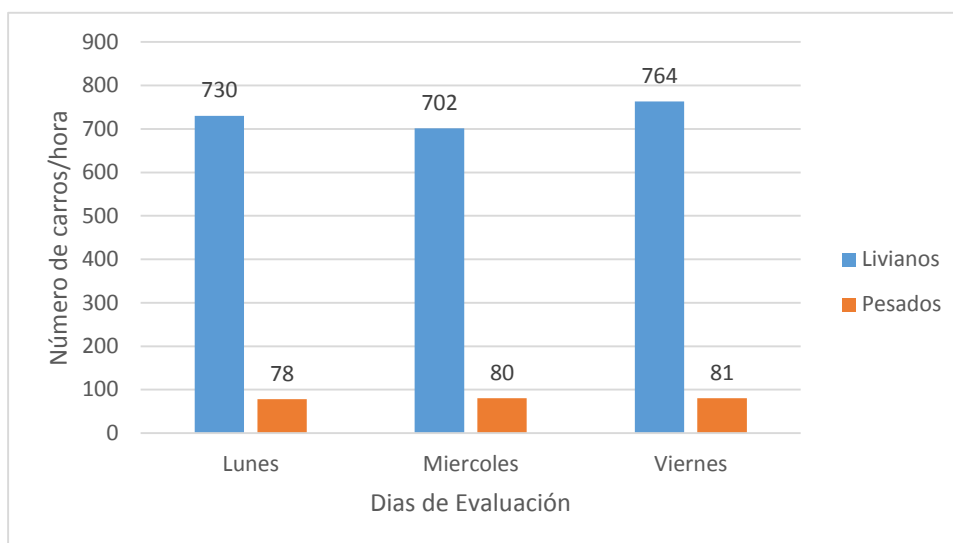


Gráfico 2-3. Promedio de vehículos registrados en los días de monitoreo - Terminal interprovincial

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.1.2.2. Terminal Intercantonal

3.1.2.2.1. Características generales

La terminal está formada por una estructura cerrada que es independiente, esta ocupa una superficie aproximada de 5024.5 m² (Fotografía 2-3), posee una edificación principal donde se encuentran los servicios básicos, así como las oficinas de cada una de las cooperativas, cuenta con un área específica que sirve solamente para la salida de los buses en sus respectivos turnos, a pesar de que se construyó de manera específica para albergar a las cooperativas que se transportan a los cantones de Guamote y Colta, en su planificación no se tuvo en cuenta un espacio para la llegada de los vehículos razón por la cual esta se realiza en los alrededores de la terminal.

Los buses que forman parte de las cooperativas que trabajan en la terminal son en su totalidad de la marca HINO, debemos matizar que en este terminal las unidades de transporte muy pocas son nuevas tomando en cuenta modelos del 2015 en adelante, se registraron modelos que datan del año 1998, generalmente los vehículos provienen de las cooperativas de transporte interprovincial que ya han decidido renovar sus vehículos, además se observó que las unidades más antiguas tienen como destino las comunidades más alejadas como por ejemplo la cooperativa Línea Gris, cuyos turnos son hacia las comunidades Tipin San Vicente, Tipin San Juan o Galte

Jatum Loma, mismas que forman parte del cantón Guamote. En los alrededores de la terminal no registraron fuentes extras de material particulado como polvo o construcciones que pudiesen modificar las concentraciones registradas.



Fotografía 2-3. Áreas que conforman la terminal intercantonal

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

La terminal cuenta con 12 cooperativas en funcionamiento, con un total de buses en movimiento, el número de buses, turnos de salida y destinos se describen en la tabla 3-3.

Tabla 3-3. Cooperativas de transporte terrestre que forman parte de la terminal intercantonal

Cooperativa	Turnos	Intervalos
Colta	La cooperativa tiene turnos a la ciudad de Cajabamba y los sectores de Columbe, Trigoloma-Chillanes.	Desde las 6:30 a.m. hasta 20:30 p.m.
Guamote	La cooperativa tiene turnos al cantón Guamote	Desde las 5:20 a.m. hasta 20:00 p.m.
Alianza Llin Llin	La cooperativa tiene turnos a los sectores de Columbe Llin Llin, Columbe San Miguel, Columbe Calpa Centro, Malpote Llimbe, Mancheno Llin Llin, Trigoloma Cañi y Secao San Bartolo Alto, además de turnos al	Desde las 4:30 a.m. hasta 20:00 p.m.

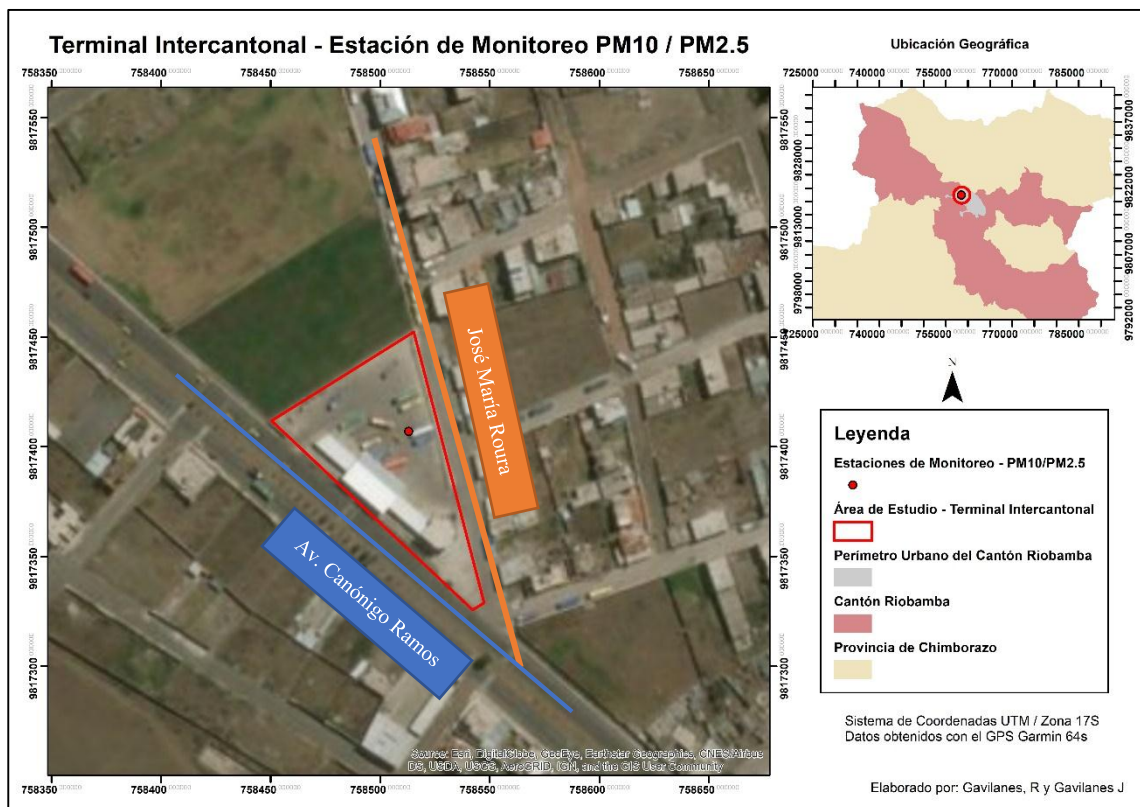
	cantón Pallatanga	
Ñuca Llacta	La cooperativa tiene turnos diarios al cantón Alausí y solo los días domingos a los cantones de Guamote y Pallatanga, además a los sectores de Castug Alto, Chillanes, Columbe, Pulucate, Sablog, Santiago de Quito, Sasapud, Tipin y Tixan.	Desde las 4:00 a.m. hasta 20:20 p.m.
2 de octubre	La cooperativa tiene turnos diarios a la parroquia San Juan, a los sectores: Chimborazo, Shobol, La Delicia	Desde las 6:30 a.m. hasta 19:45 p.m.
Campesinos unidos	La cooperativa tiene turnos diarios a los siguientes sectores: Calpiloma, Chuquicaz, Cunduana, Guashi Chico, La Moya, Nitiluisa, Palacio Real, San Francisco de Cunuguachay	Desde las 6:45 a.m. hasta 19:35 p.m.
Alianza San Juan	La cooperativa tiene turnos diarios a los siguientes sectores: La Calera, Santa Ana, Chaupi Poloma, Calera Loma	Desde las 6:15 a.m. hasta 20:00 p.m.
Línea Gris	La cooperativa tiene turnos diarios a los siguientes sectores: Chubatus, Galte, Guantul, Los Atapos, Palacio San Carlos, Pomacacha, Tiocajas, además de la ciudad de Cajabamba	Desde las 5:15 a.m. hasta 20:40 p.m.
Zula Ozogoché	La cooperativa tiene turnos diarios al sector de Totoras	Desde las 4:20 a.m. hasta 19:15 p.m.
El Cóndor	La cooperativa tiene turnos diarios a los siguientes sectores: San Rafael, Tambohuasha y Uchanchi	Desde las 6:20 a.m. hasta 21:30 p.m.
San Andrés	La cooperativa tiene turnos diarios a los siguientes sectores: Tagualag, Santa Rosa de Chuquipogio, Las Minas, La Josefina, el Quinual, Balsayan y Calshi San Francisco, además a la parroquia San Andrés	Desde las 6:30 a.m. hasta 19:30 p.m.
San Isidro	La cooperativa tiene turnos diarios a los siguientes sectores: Chocavi, Pulug, y Tutupalac, además de la parroquia San Isidro y el cantón Pallatanga.	Desde las 4:30 a.m. hasta 19:20 p.m.

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.1.2.2.2. Ubicación geográfica del área de estudio y punto de monitoreo

La terminal se ubica en la parroquia Lizarzaburu, barrio Manzanares entre la Av. Canónigo Ramos y José María Roura (Mapa 3-3), las coordenadas UTM de la ubicación de la estación son:

X - 758513 / Y - 9817407



Mapa 3-3. Ubicación geográfica de la terminal intercantal y su estación de monitoreo

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.1.2.2.3. Conteo Vehicular

En la tabla 4-3, se muestra el número de carros que ingreso a la terminal intercantal, la entrada de la terminal se ubica en la calle José María Roura, en vista a la pequeña superficie que abarca la terminal y la poca distancia que existe entre el lugar de embarque de los carros y la calle, también se tomó en cuenta los vehículos que se movilizan por la misma.

Tabla 4-3. Conteo vehicular de la terminal intercantonal

Terminal Intercantonal					
Hora	Vehículos	Lunes	Miércoles	Viernes	Media
8:00 a.m.	Livianos	698	675	693	688
	Pesados	71	69	83	74
10:00 a.m.	Livianos	637	598	601	612
	Pesados	56	43	49	49
12:00 p.m.	Livianos	677	688	681	682
	Pesados	84	79	85	82
17:00 p.m.	Livianos	621	601	611	611
	Pesados	51	57	53	53
19:00 p.m.	Livianos	632	615	627	624
	Pesados	45	43	47	4

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

El movimiento vehicular registrado en la terminal intercantonal fue alto, a las 8:00 a.m. y 12:00 p.m. con una disminución apreciable para las 10:00 a.m. y 12:00 p.m. en alrededor de 80 carros, las 19:00 p.m. a pesar de ser una hora considerada de alto movimiento vehicular no registro una alta cantidad de carros al compararla con las 8:00 a.m. y 12:00 p.m., con lo que respecta a los vehículos livianos el número de vehículos livianos registrados se debe a que la Av. Canónigo Ramos es una vía alterna de salida para Quito y la calle José María Román es la calle principal de acceso al barrio Manzanares. En el caso de los vehículos pesados la cantidad registrada estuvo relacionada con buses de la terminal propiamente dicha y los buses de transporte urbano pasan por la terminal (Gráfico 3-3).

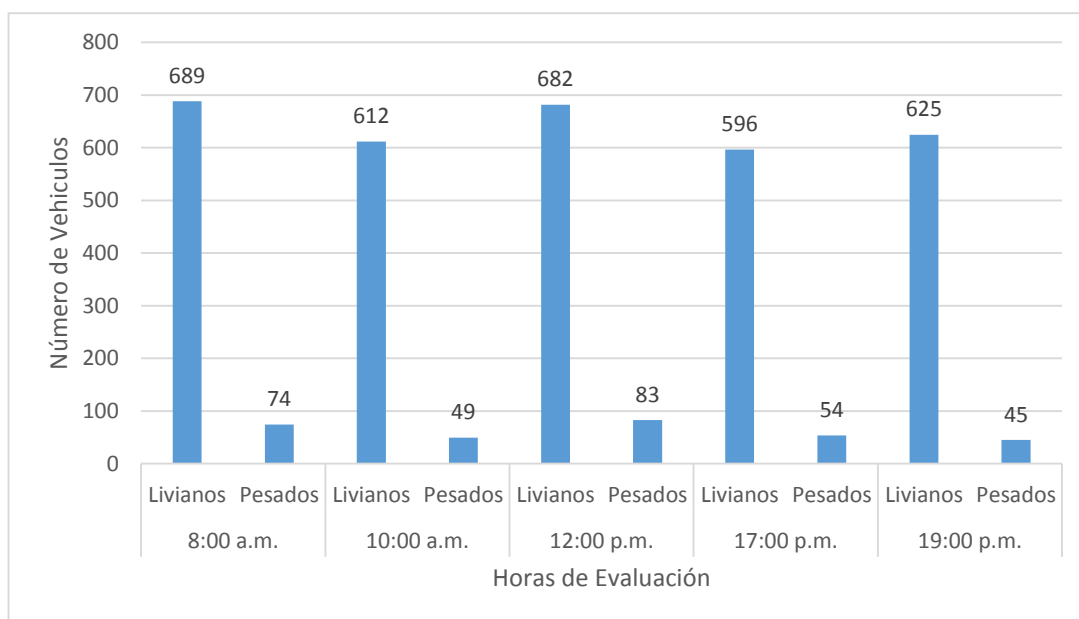


Gráfico 3-3. Promedio de vehículos registrados por hora de monitoreo – Terminal intercantional

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

En el gráfico 4-3 se muestra el promedio de vehículos registrados en función a los días de monitoreo, se puede observar que en el transcurso de los días de evaluación no existe una variación considerable en el número de vehículos registrados tanto para pesados como para livianos, en el caso de los livianos esto debe a que en los alrededores de la terminal no existen lugares relevante que puedan modificar el flujo vehicular de la zona, con lo que tiene que ver a los pesados el número de vehículos no dista uno de otro entre los días de conteo principalmente porque el parque automotor de la terminal abastece la demanda de la gente, por tal razón no se requiere de turnos extras, esto se debe principalmente a que el recorrido de los distintos turnos repiten las mismas paradas hasta coger una vía específica hacia su destino final así por ejemplo las cooperativas de transporte Guamote, Línea Gris o Mushuc para llegar a sus destinos finales necesariamente deben pasar Cajabamba y Guamote, además dentro de este trayecto se encuentran varias comunidades, porque las opciones para trasladarse son múltiples, requiriendo el uso específico de los buses cuando los destinos también los son.

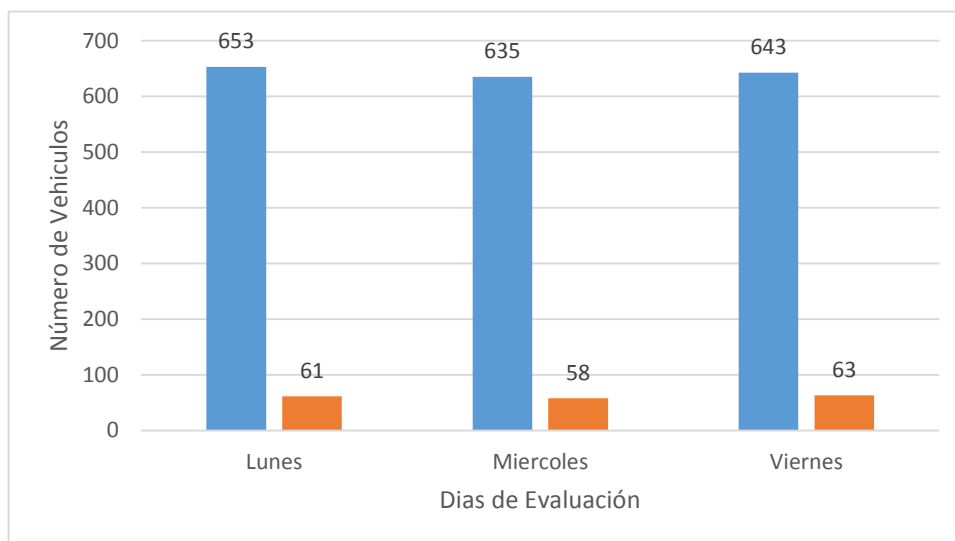


Gráfico 4-3. Promedio de vehículos registrados en los días de monitoreo - Terminal intercantional

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.1.2.3. Terminal del Barrio la Dolorosa

3.1.2.3.1. Características generales

La terminal está formada por una estructura abierta tipo andén que no es independiente, esta ocupa una superficie aproximada de 737.5 m², forma parte del parque del barrio la Dolorosa y de la calle transversal denominada Puruhá (Fotografía 3-3), cuenta con espacios que sirven solamente para la salida de los buses a los distintos destinos, la llegada de los mismos se realiza en los alrededores de la terminal. Dentro de esta terminal se registraron buses cuyos años de fabricación van desde los años 1997 hasta el año 2015, son de la marca HINO la mayoría, muy pocas unidades pertenecen a la marca Mercedes Benz, las más antiguas forman parte de las cooperativas Mushuc Yuyay y Pungala, las modernas a las cooperativas Unidos y Chambo.

se debe mencionar que al igual que con los buses de la terminal intercantional, muchas de las unidades son provenientes de las cooperativas de transporte interprovincial que han renovado sus buses. Debido a su ubicación las concentraciones de material particulado están directamente influenciadas tanto por los buses que hacen uso de las instalaciones y los vehículos que transitan por la calle donde se ubica la terminal, en sus inmediaciones no se registraron fuentes extras de material particulado que pudiesen alterar las concentraciones de material particulado.



Fotografía 3-3. Vista frontal de la estructura que conforma la terminal del barrio La Dolorosa

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

La terminal cuenta con seis cooperativas en funcionamiento, con un total de 84 buses en movimiento, el número de buses, turnos de salida y destinos se describen en la tabla 5-3.

Tabla 5-3. Cooperativas de transporte terrestre que forman parte de la terminal del barrio La Dolorosa

Cooperativa	Turnos	Intervalos
Chambo	La cooperativa tiene un total de 108 turnos al cantón Chambo	Cada 10 minutos desde las 6:15 a.m. hasta 22:05 p.m.
Pungala	La cooperativa tiene un total de 17 turnos a la parroquia Alao	Cada 50 minutos desde las 6:00 a.m. hasta 19:20 p.m.
Unidos	La cooperativa tiene un total de 108 turnos a la parroquia Punin La cooperativa tiene un total de 48 turnos a la parroquia Cebadas.	Para Punin cada 10 minutos desde las 6:00 a.m. hasta 22:00 p.m. Para Cebadas cada 20 minutos desde las 6:00 a.m.

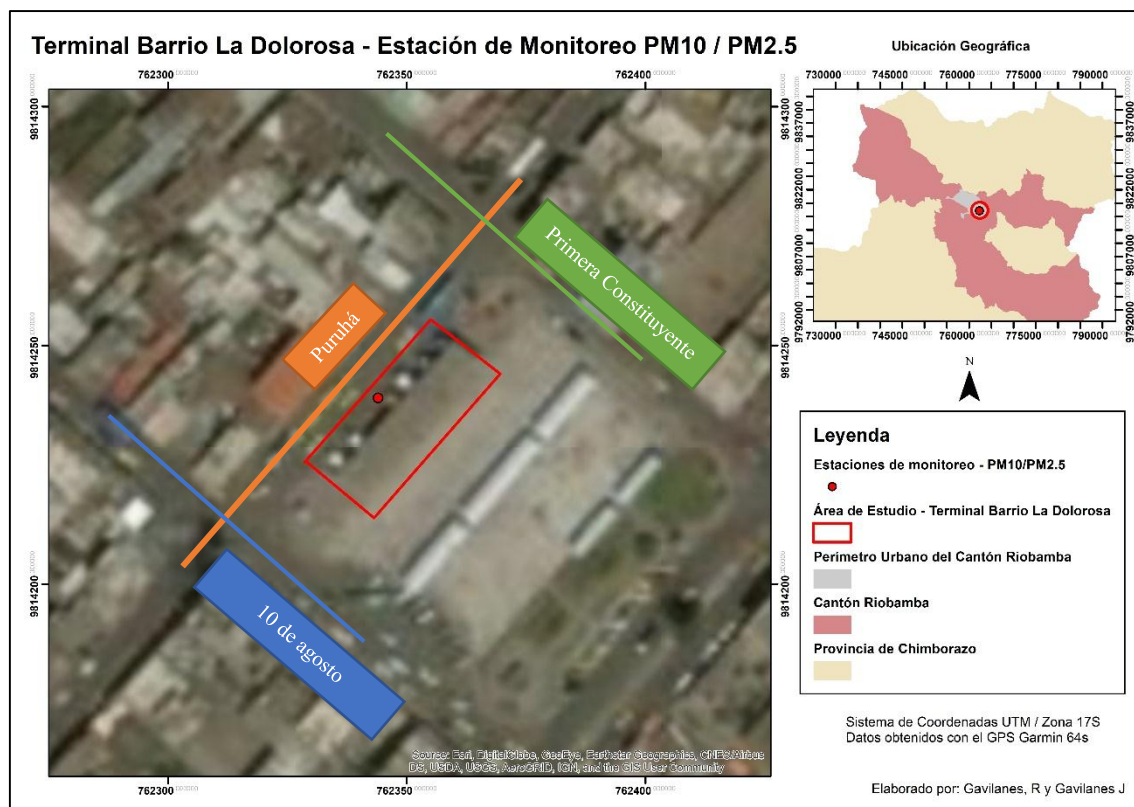
		hasta 22:00 p.m.
Citransturis	La cooperativa tiene un total de 14 turnos al cantón Chambo, parroquia Guayllabamba	Cada hora desde las 6:00 a.m. hasta 19:00 p.m.
Licto	La cooperativa tiene un total de 108 turnos a la parroquia Licto.	De las 5:40 a.m. hasta las 12:00 p.m. cada 10 min.
Mushuc Yuyay	La cooperativa tiene un total de 72 turnos a las parroquias de Pompeya y San Nicolás	Cada hora desde las 6:00 a.m. hasta las 18:00 p.m. cada 10 min

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.1.2.3.2. Ubicación geográfica del área de estudio y punto de monitoreo

La terminal se ubica en la parroquia Veloz, barrio la Dolorosa en la calle puruhá entre primera constituyente y 10 de agosto (Mapa 4-3), las coordenadas UTM de la ubicación de la estación son:

X - 762344 / **Y** - 9814239



Mapa 4-3. Ubicación geográfica de la terminal del barrio La Dolorosa y su estación de monitoreo

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.1.2.3.3. Conteo Vehicular

En la tabla 6-3 se muestran el número de carros que se registraron durante los días de evaluación, el número de vehículos a más de estar relacionado con los que forman parte de la terminal se vio influenciado por los que circular en la calle donde está ubicada la misma, a más de esto se debe tener en cuenta que la calle en mención es doble vía.

Tabla 6-3. Conteo vehicular de la terminal del barrio La Dolorosa

Terminal del Barrio La Dolorosa					
Hora	Vehículos	Lunes	Miércoles	Viernes	Media
8:00 a.m.	Livianos	318	327	343	329
	Pesados	58	62	67	62
10:00 a.m.	Livianos	211	269	227	236
	Pesados	37	41	50	43
12:00 p.m.	Livianos	333	316	347	332
	Pesados	71	89	69	76
17:00 p.m.	Livianos	233	255	247	245
	Pesados	46	53	39	46
19:00 p.m.	Livianos	327	315	330	324
	Pesados	43	55	37	45

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

En el grafico 5-3 se observa como los mayores números de carros se registraron en las horas pico, manteniéndose prácticamente constante en las tres horas analizadas (8:00 a.m. – 12:00 p.m. – 19:00 p.m.), este movimiento vehicular está directamente relacionado con distintos lugares específicos alrededor de la terminal, que para llegar a ellos requieren pasar por la calle Puruhá, entre estos tenemos el hospital General de Riobamba, la Escuela Fe y Alegría, el Colegio Amelia Gallegos o la Universidad Nacional de Chimborazo, a más de esto debemos sumar los vehículos de las distintas cooperativas de taxis y camionetas que llegan a la terminal, ya que al no tener una infraestructura propia y formar parte de la calle, el tránsito de estos es libre.

En el caso de los vehículos pesados el conteo registrado en las horas pico es variable, esto se puede atribuir a que a diferencia de la terminal interprovincial e intercantonal, los recorridos de esta terminal son a nivel parroquial, siendo solo intercantonal el que se dirige para el cantón Chambo, donde un gran parte de usuarios está conformado por trabajadores y estudiantes que llegan a la ciudad de Riobamba en la mañana o el medio día para cumplir con distintas actividades diarias, por tal razón el retorno no es seguro al medio día y la noche, además al ser una zona comercial el paso de camiones de pequeño y mediano tamaño es variable, debido al abastecimiento de los distintos locales.

La reducción de vehículos a las 10:00 a.m. y 17:00 p.m. notable, lo que permitió el flujo normal de los carros principalmente en los semáforos de las intersecciones de la calle Puruhá tanto con

la 10 de agosto como con la primera constituyente, ya que en dichas zonas en las horas pico se registró acumulación vehicular que impedía la normal circulación.

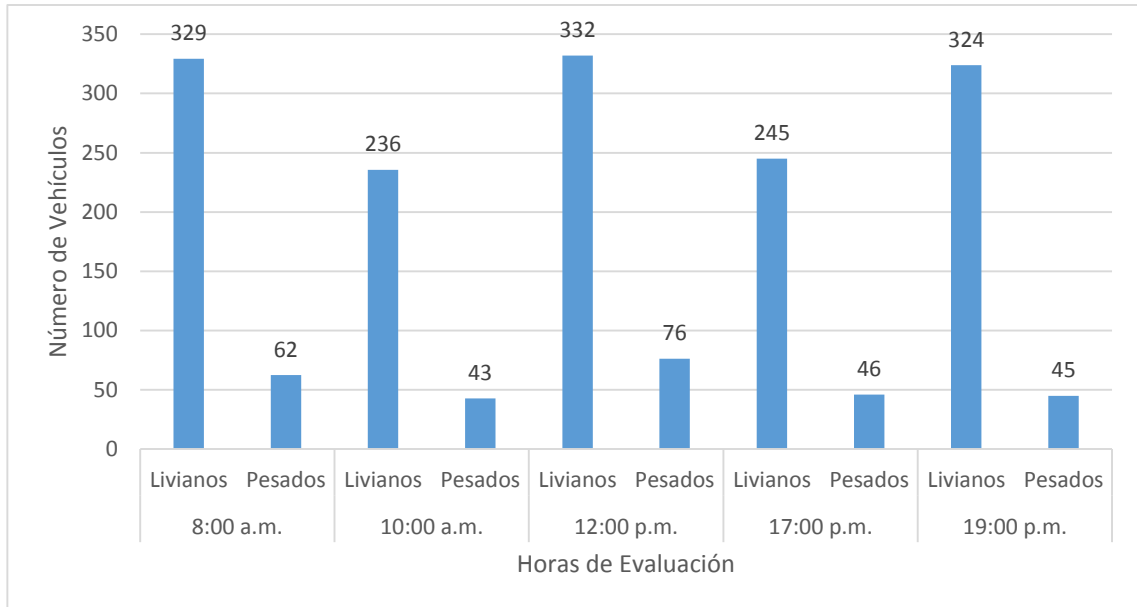


Gráfico 5-3. Promedio de vehículos registrados por hora de monitoreo – Terminal del barrio La Dolorosa

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

En el grafico 6-3 se observa que en función a los días de muestreo no se tiene una variación considerable en el conteo de vehículos tanto para pesados como para livianos, ya que no se tiene actividades específicas dentro de los días de evaluación que pudiesen influir en la media del número de vehículos registrados por hora en cada uno de estos días, como ya se mencionó con anterioridad son la actividades que cada persona realiza día a día, las que influenciaran en el número de vehículos que se registren dentro de esta zona.

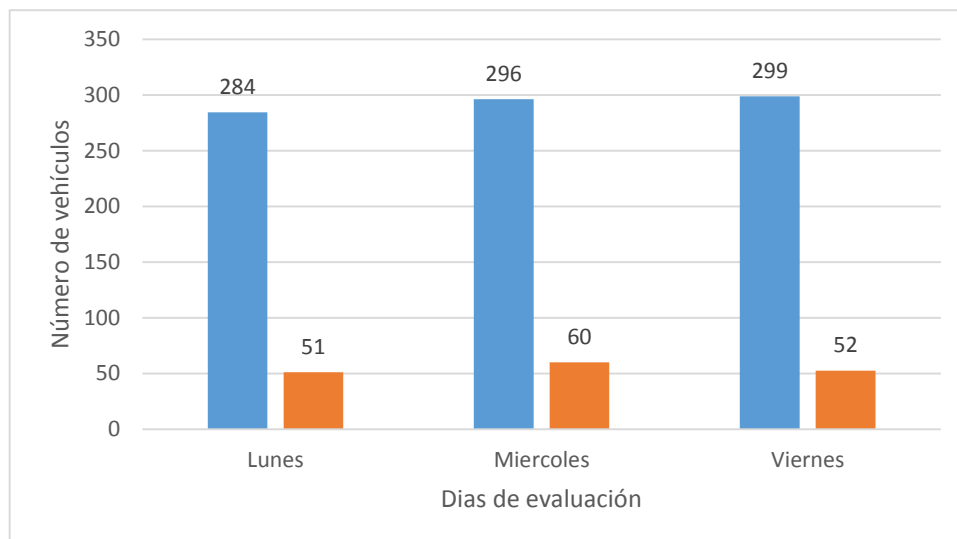


Gráfico 6-3. Promedio de vehículos registrados en los días de monitoreo - Terminal del Barrio la Dolorosa

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.1.2.4. Terminal Oriental

3.1.2.4.1. Características generales

El terminal oriental está formado por una estructura abierta tipo andén que ocupa un área de 448.5 m², esta no es independiente, forma parte del mercado oriental y de la calle transversal espejo (Fotografía 4-3), cuenta con espacios que sirven solamente para la salida de los buses a los distintos destinos, la llegada de los mismos se realiza en los alrededores de la terminal. Al igual que con la terminal del barrio la Dolorosa su ubicación hace que las concentraciones de material particulado se vean influenciadas tanto por los buses que hacen usos del espacio, así como de los vehículos que circulan por la calle donde se ubica, esta presencia vehicular se ve intensificada los días miércoles y sábados ya que en el mercado son días de feria.

Con lo que respecta al parque automotor los buses en su totalidad son de la marca HINO, los años de fabricación van desde 1998 hasta el 2005, con la excepción de la Cooperativa de Transportes Penipe, misma que renovó en su totalidad su flota de buses, además en conjunto con la Cooperativa Bayushig el servicio que prestan es intercantonal, en el caso de la Cooperativa Quimiag este es interparroquial. En los alrededores de la terminal no se registró otras fuentes que puedan modificar significativamente las concentraciones producidas por los vehículos.



Fotografía 4-3. Vista frontal de la estructura que conforma la terminal oriental

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

La terminal cuenta con 3 cooperativas en funcionamiento, con un total de 48 buses en movimiento, el número de buses, turnos de salida y destinos se describen en la tabla.

Tabla 7-3. Cooperativas de transporte terrestre que forman parte de la Terminal Oriental

Terminal	Turnos	Intervalos
Quimiag	La cooperativa tiene un total de 80 turnos que cubren las parroquias de Quimiag y Cubijés	Cada 10 minutos desde las 6:00 a.m. hasta 20:20 p.m.
Bayushig	La cooperativa tiene un total de 48 turnos al cantón Penipe, se cubre las parroquias de Penipe, Bayushig y Matus	Cada 20 minutos desde las 6:15 a.m. hasta 22:30 p.m.
Penipe	La cooperativa tiene un total de 39 turnos al cantón Penipe, a la parroquia urbana de Penipe	Cada 20 minutos desde las 6:50 a.m. hasta 21:20 p.m.

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Tabla 8-3. Conteo vehicular de la terminal oriental

Terminal Oriental					
Hora	Vehículos	Lunes	Miércoles	Viernes	Media
8:00 a.m.	Livianos	380	425	374	393
	Pesados	64	79	73	72
10:00 a.m.	Livianos	272	296	285	284
	Pesados	59	66	60	62
12:00 p.m.	Livianos	401	410	397	403
	Pesados	79	83	67	76
17:00 p.m.	Livianos	256	247	266	256
	Pesados	49	57	38	48
19:00 p.m.	Livianos	373	380	347	367
	Pesados	37	41	39	39

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Con lo que respecta a la terminal oriental se observa en el gráfico 7-3 la presencia de un mayor número de carros a las 8:00 a.m. y a las 12:00 p.m. a diferencia de las 19:00 p.m. donde sí se observa una disminución en el número de carros, este comportamiento se debe a que a su alrededor solo existe una área específica que puede influenciar en el número de carros y es la Unidad Educativa Miguel Ángel León Pontón, ya que para llegar a su entrada se debe pasar por la terminal, además por la calle espejo donde se ubica la terminal pasan líneas de transporte urbano, que a horas de la mañana y el medio pasan constantemente, llegada la ultima hora de medición se evidencio un menor número de carros, y el tiempo en el que pasaban los buses urbanos fue más amplio.

Otro aspecto a tener en cuenta es que las cooperativas Transporte Interprovincial que utilizaban esta terminal, ya se trasladaron a la Terminal Interprovincial, esto hizo que el movimiento en la tarde y noche ya no sea el mismo que en la mañana en especial para los vehículos livianos, en lo que respecta a los pesados la diferencia entre horas está dada por un factor, el que los buses de esta terminal comparten los andenes con una cooperativa de camiones, por lo que fueron tomados en cuenta para el conteo, mismos que llegan y salen durante toda la mañana de forma continua y ve disminuida su actividad pasado el mediodía, por lo que a las 17:00 p.m. y 19:00 p.m. ya solo se contabilizo los buses de la terminal.

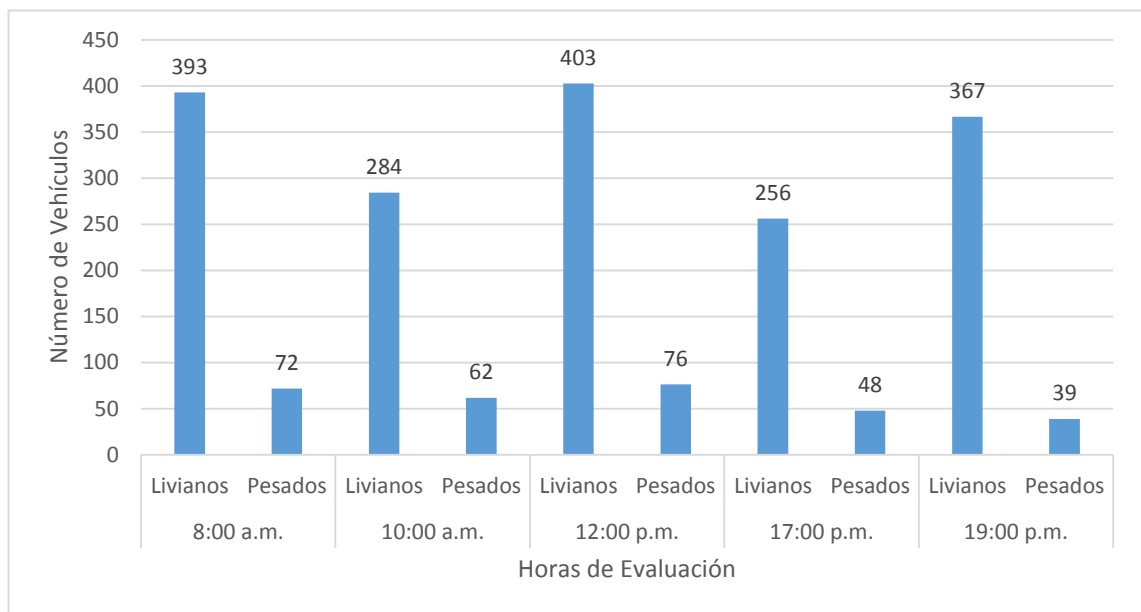


Gráfico 7-3. Promedio de vehículos registrados por hora de monitoreo – Terminal oriental

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

En el gráfico 8-3 se observa que no existe una diferencia notoria en el conteo de carros para los días de evaluación lunes y viernes, a diferencia del día miércoles donde se registró un aumento en el número de vehículos tanto pesados como livianos, esto se debe principalmente a la Feria que se realiza los días miércoles en el mercado que comparte espacio con la terminal, el aumento de vehículos está relacionado no solamente con los particulares, ya que esta mayor actividad está relacionada con el uso de vehículos pertenecientes a cooperativas de taxis y camionetas, cabe mencionar que el tiempo de la feria es desde las 6:00 a.m. hasta aproximadamente las 17:00 p.m. siendo el medio día donde más movimiento vehicular se registró.

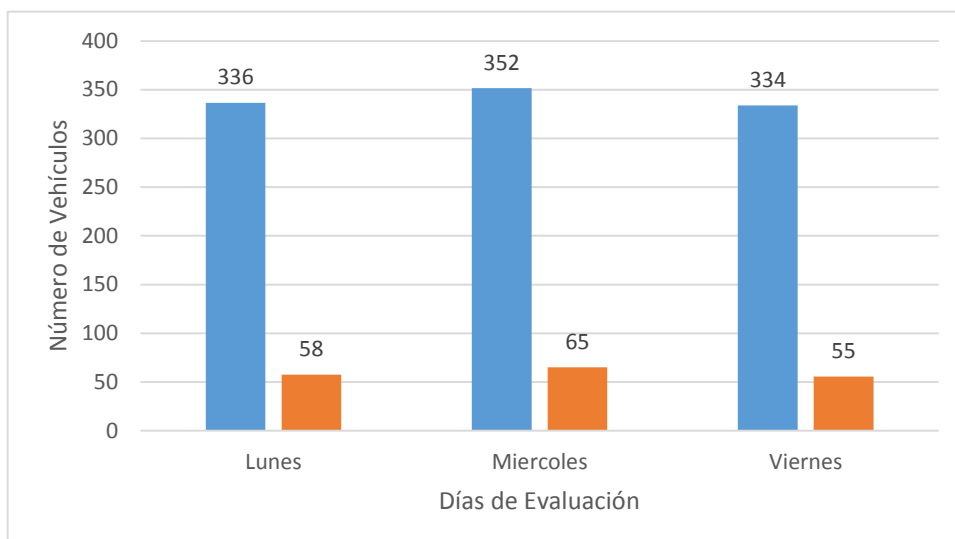


Gráfico 8-3. Promedio de vehículos registrados en los días de monitoreo - Terminal oriental

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.2. Concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en las terminales en estudio

3.2.1. Terminal Interprovincial

En la tabla 9-3 se muestran las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$, de acuerdo con la normativa ambiental para calidad del aire ninguna de las estaciones sobrepaso los límites máximos permisibles.

Tabla 9-3. Concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la terminal interprovincial

Terminal Interprovincial					
Id	Días de Monitoreo	PM_{10}	Límite Máximo Permissible	$PM_{2.5}$	Límite Máximo Permissible
1	Lunes	78.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	49.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	Miércoles	79.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		43.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
3	Viernes	81.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		45.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

En los tres días de monitoreo las concentraciones se mantuvieron constantes en el caso del PM_{10} por debajo de los $80 \mu g/m^3$, registrándose la mayor concentración de PM_{10} el viernes con $81.23 \mu g/m^3$ y de $PM_{2.5}$ el lunes con $49.89 \mu g/m^3$ que a pesar de no sobrepasar los límites prácticamente está en el límite, el resto de los días se registró valores sobre los $40 \mu g/m^3$ (Gráfico 9-3)

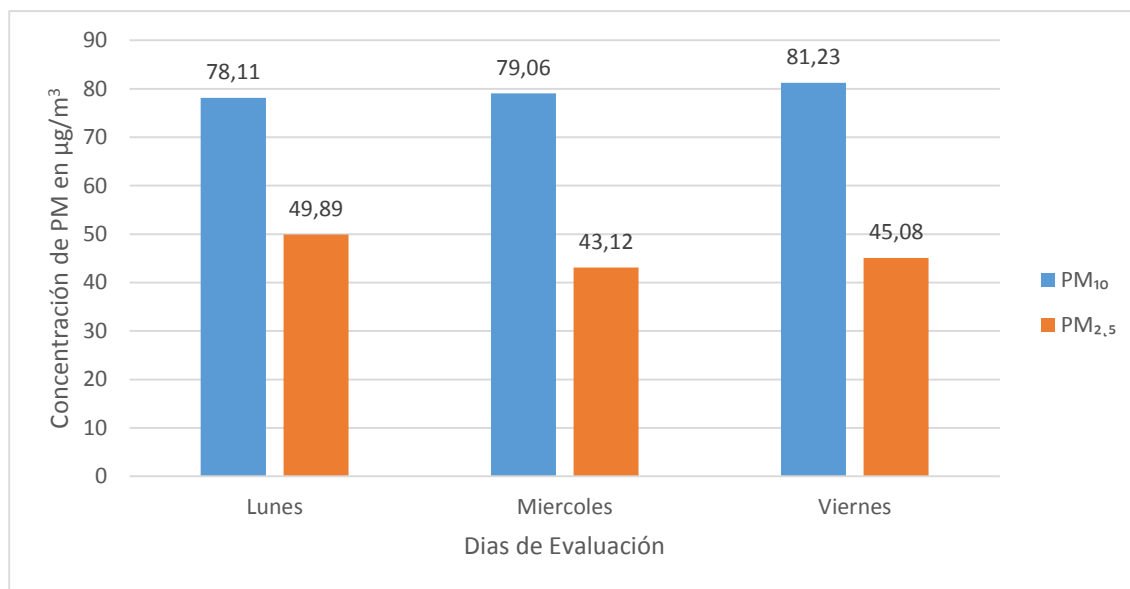


Gráfico 9-3. Comparación de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ de los días de monitoreo – Terminal interprovincial

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Las estimaciones realizadas de las concentraciones de PM_{10} (Tabla 10-3) y $PM_{2.5}$ (Tabla 11-3) en función al conteo vehicular determinaron que la concentración de PM_{10} fue de $77.18 g/360m$ y de $PM_{2.5}$ fue de $48.15 g/360m$, como se observa en las tablas antes mencionadas se realizaron dos cálculos de acuerdo al recorrido que realizan los buses en la terminal, así el recorrido uno es el que realizan los buses desde la entrada del terminal hasta llegar a la zona de embarque de los pasajeros, recogerlos y dirigirse a la salida, en el caso del recorrido dos este comenzó desde la entrada hasta la zona de desembarque de los pasajeros y posterior salida del terminal.

Tabla 10-3. Estimación de PM₁₀ en la terminal interprovincial

Factor de estimación		0.67 g/km	
Recorrido 1		Recorrido 2	
g/240m	0.1608	g/120m	0.0804
Estimación	57.888 g/240m	Estimación	19.296 g/120m
Total		77.184 g/360m	

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Tabla 11-3. Estimación de PM_{2.5} en la terminal interprovincial

Factor de estimación		0.418 g/km	
Recorrido 1		Recorrido 2	
g/240m	0.10032	g/120m	0.05016
Estimación	36.11 g/240m	Estimación	12.0384 g/120m
Total		48.15 g/360m	

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Los parámetros meteorológicos medidos durante los días de muestreo se detallan en la tabla 12-3.

Tabla 12-3. Parámetros meteorológicos durante los días de monitoreo - Terminal interprovincial

T. Interprovincial	Parámetros		
Día de monitoreo	Temperatura	Presión Atmosférica	Viento
Lunes	17 °C	540 mmHg	0.5 a 2.10 m/s - WNW
Miércoles	19 °C	538 mmHg	2 a 3.80 m/s - WNW
Viernes	18 °C	543 mmHg	1 a 5.30 m/s - WNW

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.2.2. Terminal Intercantonal

En la tabla 13-3 se presentan las concentraciones de material particulado registradas los tres días de evaluación, en ninguno de los casos las concentraciones sobrepasaron las concentraciones máximas establecidas por la ley

Tabla 13-3. Concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} en la terminal intercantonal

Terminal Intercantonal					
Id	Días de Monitoreo	PM ₁₀	Límite Máximo Permisible	PM _{2.5}	Límite Máximo Permisible
1	Lunes	56.04 µg/m ³	100 µg/m ³	39.87 µg/m ³	50 µg/m ³
2	Miércoles	59.92 µg/m ³		42.02 µg/m ³	
3	Viernes	61.42 µg/m ³		40.81 µg/m ³	

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

En los tres días de evaluación con lo que respecta a las concentraciones registradas para PM₁₀ estas se mantuvieron por debajo de los 65 µg/m³, siendo el viernes donde se registró la mayor cantidad de PM₁₀ con 61.42 µg/m³, en lo referente a las concentraciones obtenidas para PM_{2.5} estas se mantuvieron debajo de los 45 µg/m³, la concentración más alta se registró el día lunes la cual alcanzo los 42.02 µg/m³ (Gráfico 10-3).

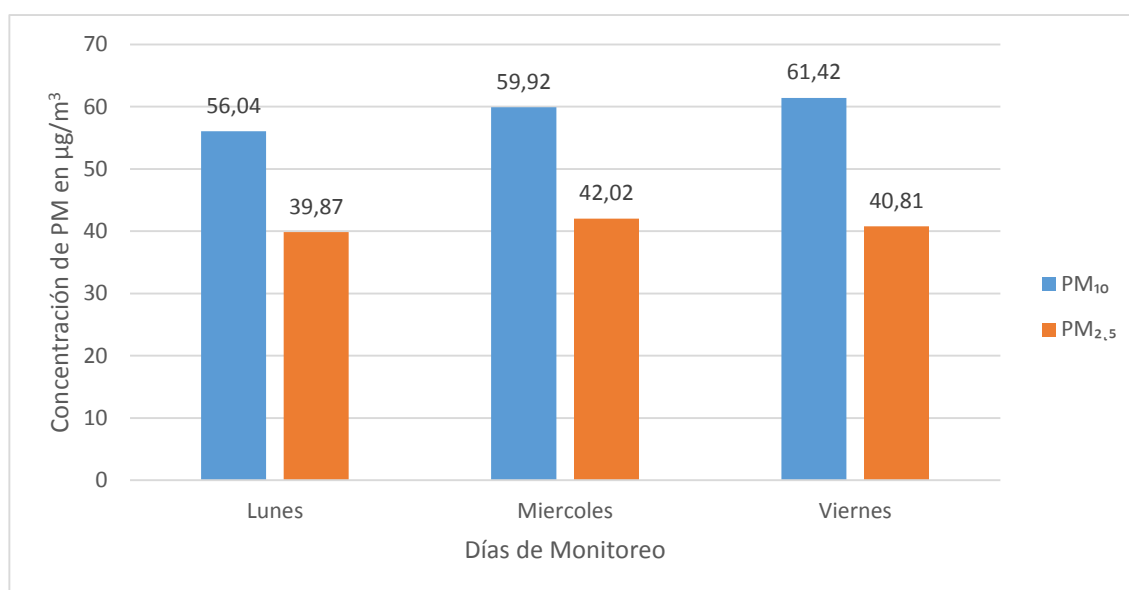


Gráfico 10-3. Comparación de las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} de los días de monitoreo – Terminal intercantonal

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Las estimaciones realizadas de las concentraciones de PM₁₀ (Tabla 14-3) y PM_{2.5} (Tabla 15-3) en función al conteo vehicular, determinaron que la concentración de PM₁₀ fue de 54.90 g/110m y de PM_{2.5} fue de 34.25 g/110m, para esta terminal se utilizó una sola distancia para realizar las estimaciones ya que como se mencionó en la línea base esta terminal cuenta solo con una zona para el embarque de los pasajeros.

Tabla 14-3. Estimación de PM₁₀ en la terminal intercantonal

Factor de Emisión	0.67 g/km
g/110m	0.0737
Estimación	54.90 g/110m

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Tabla 15-3. Estimación de PM_{2.5} en la terminal intercantonal

Factor de Emisión	0.418 g/km
g/110m	0.04598
Estimación	34.25 g/110m

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Los parámetros meteorológicos medidos durante los días de muestreo se detallan en la tabla 16-3.

Tabla 16-3. Parámetros meteorológicos durante los días de monitoreo - Terminal intercantonal

T. Intercantonal	Parámetros		
Día de monitoreo	Temperatura	Presión Atmosférica	Viento
Lunes	18 °C	545 mmHg	3.8 - 7.1 m/s - WNW
Miércoles	17 °C	541 mmHg	3.6 - 5.7 m/s - WNW
Viernes	19 °C	552 mmHg	4.6 - 6.3 m/s - WNW

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.2.3. Terminal Barrio la Dolorosa

Las concentraciones registradas en la terminal Barrio la Dolorosa tanto para PM₁₀ y PM_{2.5} no sobrepasaron los límites establecidos por la ley actual, en la tabla 17-3 se muestran los datos obtenidos para los días de evaluación.

Tabla 17-3. Concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} en la terminal del Barrio la Dolorosa

Terminal Barrio La Dolorosa					
Id	Días de Monitoreo	PM₁₀	Límite Máximo Permisible	PM_{2.5}	Límite Máximo Permisible
1	Lunes	43.88 µg/m ³	100 µg/m ³	33.97 µg/m ³	50 µg/m ³
2	Miércoles	53.12 µg/m ³		38.1 µg/m ³	
3	Viernes	46.39 µg/m ³		36.2 µg/m ³	

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Con lo que respecta a la Terminal del barrio La Dolorosa las concentraciones de PM_{10} se encontraron por debajo de los $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el día donde se registró la más alta concentración fue el miércoles con $53.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ los días lunes y viernes presentaron valores por debajo de los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para $PM_{2.5}$ las concentraciones registradas se estuvieron debajo de los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el valor más alto se registró el día miércoles con una concentración de $38.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el valor más bajo alcanzo los $33.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gráfico 11-3)

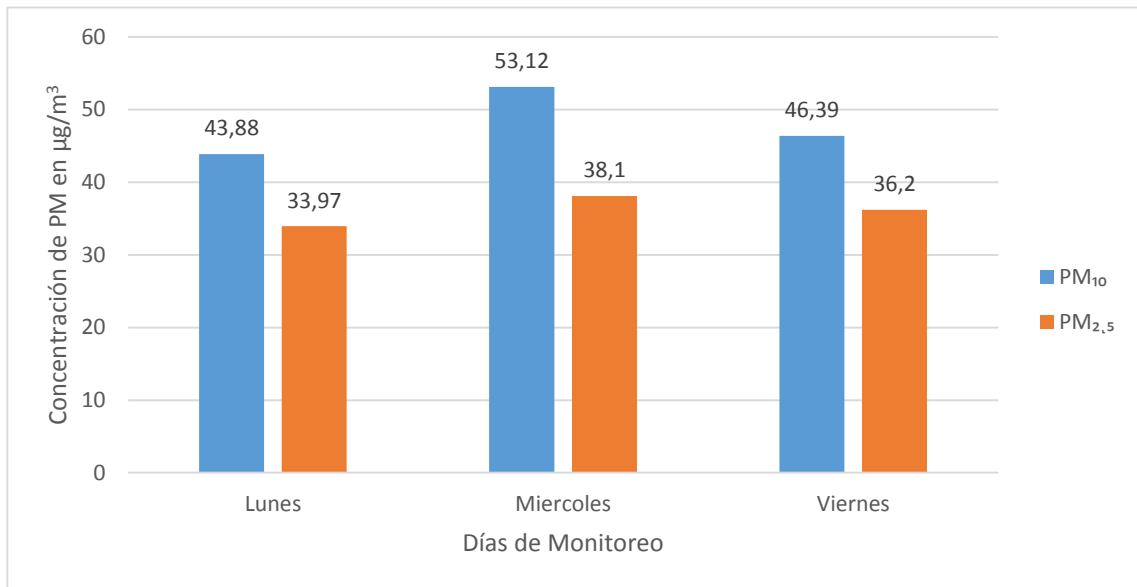


Gráfico 11-3. Comparación de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ de los días de monitoreo – Terminal del barrio La Dolorosa

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

A diferencia con las dos primeras terminales, esta al no contar con una infraestructura propia, comparte parte de la calle Puruhá para su funcionamiento, por esta razón como se muestra a continuación, se tomó en cuenta los vehículos particulares y privados que transitaron por esta calle, de esta forma las estimaciones realizadas de las concentraciones de PM_{10} (Tabla 18-3) y $PM_{2.5}$ (Tabla 19-3) en función al conteo vehicular, determinaron que la concentración de PM_{10} fue de $41.52 \text{ g}/100\text{m}$ y de $PM_{2.5}$ fue de $29.55 \text{ g}/100\text{m}$.

Tabla 18-3. Estimación de PM₁₀ en la terminal del barrio La Dolorosa

Buses	Factor de emisión	0.67 g/km
	g/100m	0.067
	Estimación	31.82 g/100m
Vehículos	Factor de emisión	0.019 g/km
	g/100m	0.0019
	Estimación	9.70 g/100m
Total		41.52 g/100m

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Tabla 19-3. Estimación de PM_{2.5} en la terminal del barrio La Dolorosa

Buses	Factor de emisión	0.418 g/km
	g/100m	0.0418
	Estimación	19.85 g/100m
Vehículos	Factor de emisión	0.019 g/km
	g/100m	0.0019
	Estimación	9.70 g/100m
Total		29.55 g/100m

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Los parámetros meteorológicos medidos durante los días de muestreo se detallan en la tabla 20-3.

Tabla 20-3. Parámetros meteorológicos durante los días de monitoreo - Terminal del barrio La Dolorosa

T. Barrio la Dolorosa	Parámetros		
Días de monitoreo	Temperatura	Presión Atmosférica	Viento
Lunes	17 °C	543 mmHg	1.1 - 3.7 m/s - WNW
Miércoles	18 °C	539 mmHg	3.1 - 7.5 m/s - WNW
Viernes	18 °C	551 mmHg	0.5 - 2.6 m/s - WNW

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.2.4. Terminal Oriental

Las concentraciones registradas de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} para la Terminal Oriental no sobrepasó los límites máximos establecidos por la legislación ecuatoriana (Tabla 21-3).

Tabla 21-3. Concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} en la terminal oriental

Terminal Oriental					
Id	Días de Monitoreo	PM ₁₀	Límite Máximo Permisible	PM _{2.5}	Límite Máximo Permisible
1	Lunes	51.33 µg/m ³	100 µg/m ³	45.13 µg/m ³	50 µg/m ³
2	Miércoles	52.63 µg/m ³		45.32 µg/m ³	
3	Viernes	48.61 µg/m ³		42.09 µg/m ³	

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Como se observa en el gráfico 12-3 la mayor concentración de PM₁₀ se registró el miércoles con 52.63 µg/m³ y la mínima se registró el viernes con una concentración de 48.61 µg/m³, en el caso del PM_{2.5} las concentraciones registradas los días lunes y miércoles alcanzaron los 45 µg/m³ el viernes esta solo disminuyo a los 42.09 µg/m³.

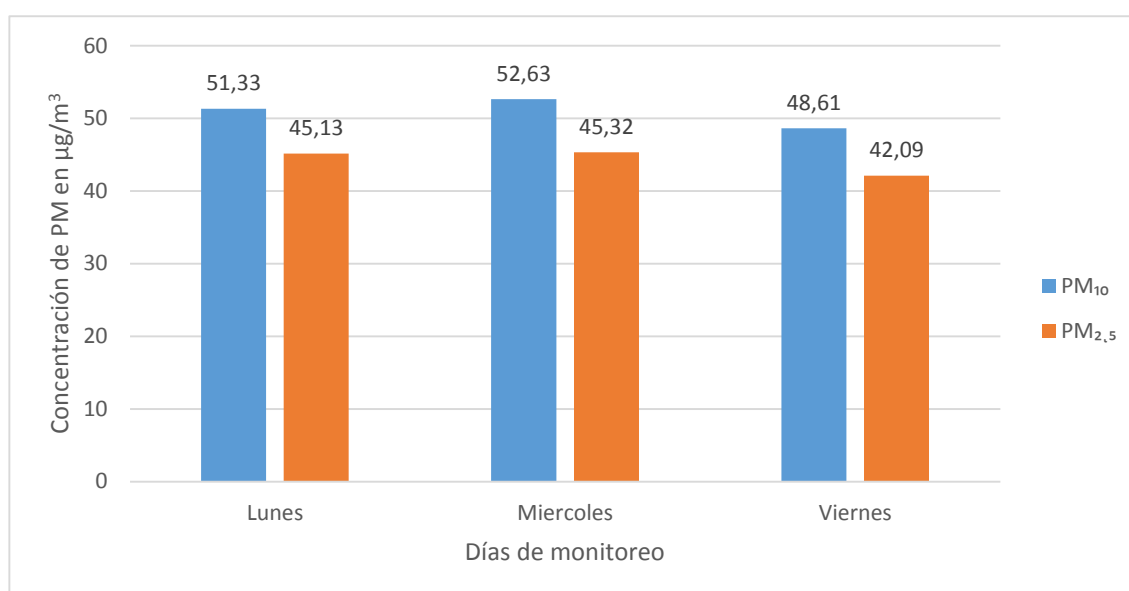


Gráfico 12-3. Comparación de las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} de los días de monitoreo – Terminal oriental

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Las estimaciones realizadas de las concentraciones de PM₁₀ (Tabla 22-3) y PM_{2.5} (Tabla 23-3) en función al conteo vehicular, determinaron que la concentración de PM₁₀ fue de 59.10 g/100m y de PM_{2.5} fue de 40.98 g/100m, al igual que con el terminal del barrio La Dolorosa por formar parte de una calle, se tomaron en cuenta los vehículos que transitaron por la misma.

Tabla 22-3. Estimación de PM₁₀ en la terminal oriental

Buses	Factor de Emisión	0.67 g/Km
	g/100m	0.067
	Estimación	48.17 g/100m
Vehículos	Factor de Emisión	0.019 g/km
	g/100m	0.0019
	Estimación	10.92 g/100m
Total		59.10 g/100m

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Tabla 23-3. Estimación de PM_{2.5} en la terminal oriental

Buses	Factor de Emisión	0.418 g/km
	g/100m	0.0418
	Estimación	30.05 g/100m
Vehículos	Factor de Emisión	0.019 g/km
	g/100m	0.0019 g/100m
	Estimación	10.92 g/100m
Total		40.98 g/100m

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

Los parámetros meteorológicos medidos durante los días de muestreo se detallan en la tabla 24-3.

Tabla 24-3. Parámetros meteorológicos durante los días de monitoreo - Terminal oriental

T. Oriental	Parámetros		
Día de monitoreo	Temperatura	Presión Atmosférica	Viento
Lunes	18 °C	541 mmHg	5.7 - 8.30 m/s - WSW
Miércoles	19 °C	540 mmHg	4.5 - 6.70 m/s - WSW
Viernes	19 °C	540 mmHg	6.2 - 9.10 m/s - WSW

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.2.5. Comparación de las concentraciones medias del material particulado

En el gráfico 13-3 se observa una comparación completa entre las concentraciones de material PM₁₀ y PM_{2.5} registradas en los terminales en estudio en conjunto con el conteo de vehículos realizado, en un primera instancia se observa como el PM₁₀ varia de forma más notoria entre

terminales, mientras que el $PM_{2,5}$ se mantiene dentro de un mismo rango entre $40 \mu g/m^3$ y $50 \mu g/m^3$, en las terminales: interprovincial, intercantonal y oriental, solamente la terminal del barrio la Dolorosa presentó una concentración por debajo de los $40 \mu g/m^3$, al comparar estas tendencias con el conteo vehicular realizado se puede observar una clara relación entre las concentraciones registradas y el número de vehículos, mientras el número de vehículos aumenta también lo hacen las concentraciones de material particulado y viceversa, esta relación queda establecida ya que como se mencionó en la línea base durante los monitores realizados en las distintas terminales no se registró factores complementarios como construcciones, vías no asfaltadas o instalaciones industriales que pudiesen incidir en los resultados obtenidos durante los días de monitoreo.

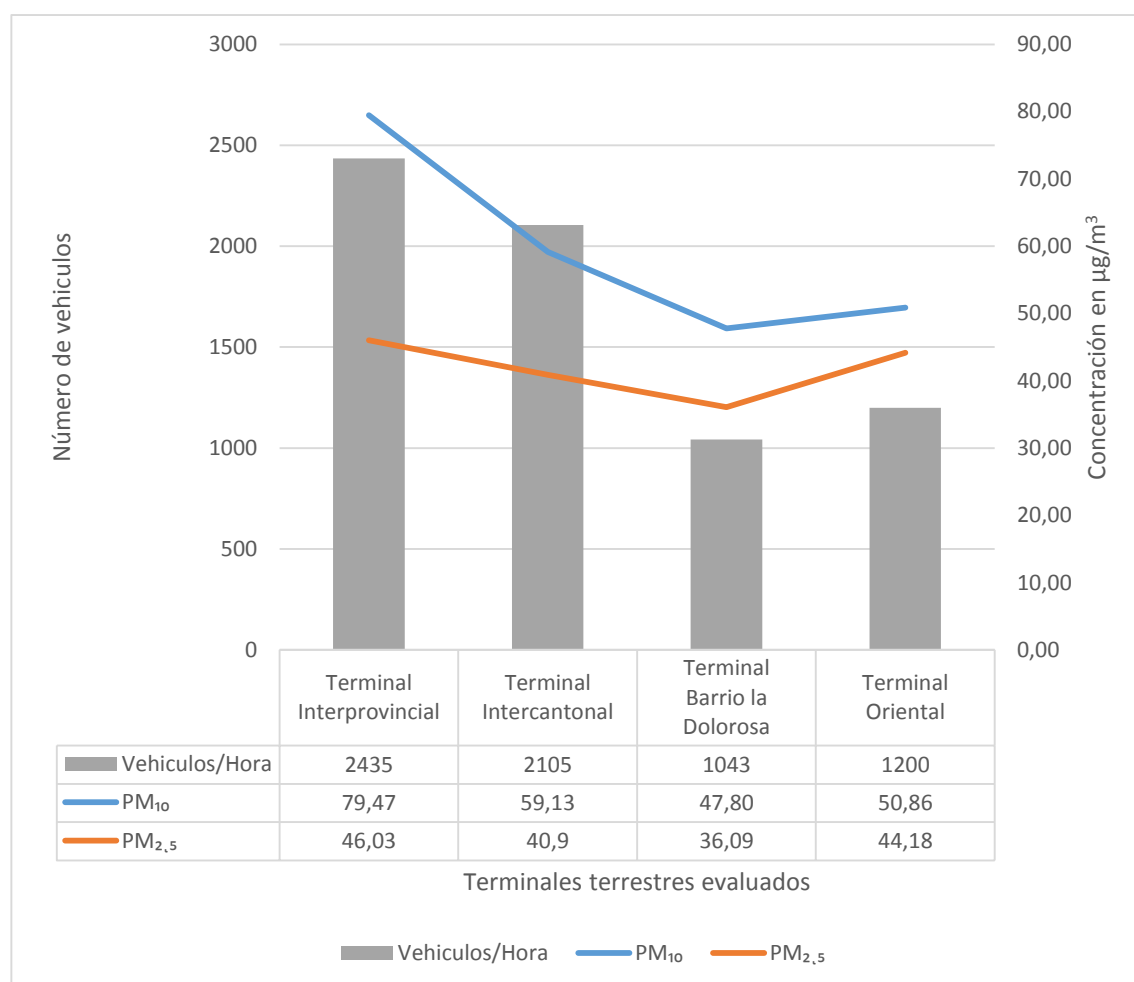


Gráfico 13-3. Comparación de general de PM_{10} y $PM_{2,5}$ en función al número de vehículos.

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

La relación antes mencionada existente entre el número de carros se determinó estadísticamente con el cálculo del Coeficiente de Person y el p-valor de significancia, como se muestra en la tabla el coeficiente calculado para la relación Numero de Vehículos – PM_{10} es de 0.91, el p-

valor fue de 0.0879; el primer valor indicó que existe una correlación fuerte entre las variables, la cual es positiva ya que a medida que una variable (vehículos) aumenta la otra variable (PM_{10}) también lo hace, por su parte el p-valor indicó que la correlación no es estadísticamente significativa (Tabla 25-3).

Tabla 25-3. Coeficiente de Person y P-valor calculado para la relación Vehículos- PM_{10}

Vehículos/Hora	PM_{10}
2434.6	79.46
2105.2	59.12
1043	47.79
1200	50.85
Coeficiente de Correlación de Person	0.91
p-valor	0.0879

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

En el caso del $PM_{2.5}$ el Coeficiente de Correlación de Person fue de 0.60, este valor indicó que existe una correlación moderada alta entre las variables, para el caso del $PM_{2.5}$ esta es positiva por lo tanto a medida que una variable aumente la otra también lo hará, el p-valor fue de 0.4030, este valor indicó que la correlación no es estadísticamente significativa (Tabla 26-3).

Tabla 26-3. Coeficiente de Person y P-valor calculado para la relación Vehículos- $PM_{2.5}$

Vehículos/Hora	$PM_{2.5}$
2434.6	46.03
2105.2	40.9
1043	36.09
1200	44.18
Coeficiente de Correlación de Person	0.60
p-valor	0.4030

Elaborado por: Gavilanes R y Gavilanes J, (2017)

3.3. Alternativas ambientales para mantener y reducir las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} , registradas en las terminales de la ciudad de Riobamba.

Las alternativas ambientales están orientadas en buscar soluciones que permitan mantener al corto plazo las concentraciones de material particulado registradas en el presente estudio por

debajo de los límites máximos permisibles por la legislación actual, manteniendo una idea clara para el mediano y largo plazo que es la reducción de estas concentraciones en beneficio de la salud de las personas que hacen uso de las terminales y sus alrededores, son objetivos ambiciosos pero no imposibles que requieren de la participación activa y consiente de los propietarios de los buses que conforman las distintas cooperativas que forman parte de las terminales de la ciudad de Riobamba, en conjunto con las autoridades locales como es el GAD Municipal de Riobamba, quienes dentro de sus competencias tienen el control de la calidad del aire a través del departamento de gestión ambiental.

Se tuvo en cuenta un aspecto importante a la hora de proponer las alternativas ambientales para las terminales, el cual es su infraestructura en el caso de la terminal interprovincial e intercantonal estas tienen una infraestructura propia, razón por la cual los equipos se colocaron dentro de esta, específicamente en la área destinada a la salida y llegada de los buses, por tal razón las concentraciones estuvieron en función a los vehículos que ingresaron a las instalaciones, por el contrario la terminal oriental y del barrio La Dolorosa comparte su infraestructura con un mercado de abastos y un parque respectivamente, además de compartir el área de la calle donde se ubican, por lo que las concentraciones estuvieran dadas tanto por los buses como por los vehículos que normalmente transitan por la calle.

Las alternativas que se proponen se detallan de forma específica en ciertos aspectos para el caso de la terminal del oriental o la del barrio la dolorosa que no cuentan con infraestructura independiente, y de manera general teniendo en cuenta su aplicabilidad en todas las terminales.

3.3.1. Realizar charlas de concientización a choferes y propietarios de las unidades de transporte

Estas charlas están enfocadas principalmente en tratar sobre los problemas ambientales que las unidades de transporte ocasionan al no recibir un mantenimiento adecuado, principalmente en lo que tiene que ver con el motor y el sistema de escape del mismo, ya que de estos dos elementos depende que las emisiones de gases contaminantes se produzcan en mayor o menor medida, se debe dar prioridad a los propietarios de los buses que pertenecen a las cooperativas interparroquiales e intercantonales, esto debido a que se pudo notar de forma visual, durante el conteo vehicular e instalación de los equipos de monitoreo que las unidades que forman parte de estas terminales en su mayoría emitían más humo que las unidades que forman parte de la terminal interprovincial, la falta de mantenimiento generalmente en los motores diésel hace que se produzca más humo de lo normal aumentando los niveles de contaminación, dentro de los problemas más frecuentes está la pérdida de refrigerante por la junta lo que ocasiona un humo de color blanco, la quema de aceite del motor que ocasiona un humo azul, mientras que el

característico humo negro en exceso se produce por un mal funcionamiento del sistema de inyección, los colores de humo mencionados se vieron durante los días de evaluación

Esto se da a pesar de que los propietarios tienen el conocimiento necesario para mantener en un buen funcionamiento a las unidades de transporte, esta despreocupación tiene como justificativo el ahorro de dinero, además de eso no existe una normativa específica para evaluar los niveles de contaminación de la unidades, si a esto le sumamos la nula información que ellos tienen sobre la parte ambiental, como las consecuencias ocasionadas por los gases que emiten sus unidades, hace que su despreocupación se más notoria. Estos problemas si se detectaran y arreglaran a tiempo ayudarían a reducir los niveles de contaminación, cabe recalcar que esa falta de preocupación por arreglar las unidades, a la postre esto siendo perjudicial porque los daños acumulados hacen que el momento de la reparación los costos sean más elevados.

3.3.2. Implementar como requisito del proceso de matriculación de las unidades transporte y vehículos en general, la revisión técnica vehicular.

A nivel provincial el sistema de matriculación no exige un control de las emisiones de gases contaminantes o de opacidad dentro de la revisión técnica vehicular, requerimiento que está establecido en los artículos 109 y 110 del Reglamento para la aplicación general de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestres, cuyo principal objetivo busca verificar que las emisiones no sobrepasen los límites máximos permisibles y así se pueda mantener un estricto control de las mismas, poniéndose en vigencia las garantías que tienen las personas de vivir con una calidad de aire adecuada.

La implementación de este parámetro solamente requiere del compromiso de las autoridades ya que reglamentaciones y normativas están establecidas a nivel nacional, para el control de la emisión de gases contaminantes o de opacidad, el control se realizará según las normativas elaboradas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), las cuales se detallan a continuación:

- a) La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 202:99 "Gestión Ambiental, Aire, Vehículos Automotores. Determinación de la Opacidad de Emisiones de Escape de Motores de Diesel Mediante la Prueba Estática. Método de Aceleración Libre", publicada en el Suplemento al Registro Oficial número 115 de 7 de julio del 2000, en su última versión; y,
- b) La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203:99 "Gestión Ambiental, Aire, Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape en Condiciones de

Marcha Mínima o "Ralentí". Prueba Estática", publicada en el Suplemento al Registro Oficial número 115 de 7 de julio del 2000, en su última versión.

Con lo que respecta a los límites máximos permitidos para las emisiones generadas por vehículos a gasolina la normativa a utilizarse es la siguiente:

a) Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:98 "Gestión Ambiental, Aire, Vehículos Automotores. Límites permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles Terrestres de Gasolina", publicada en el Registro Oficial No.100 de 4 de enero de 1999

En caso de los límites máximos permitidos para las emisiones provenientes de vehículos a diésel, la norma a utilizarse es la siguiente:

a) Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2207:98 "Gestión Ambiental, Aire, Vehículos Automotores, Límites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles Terrestres de Diesel", publicada en el Registro Oficial No.100 de 4 de enero de 1999.

La aplicación de toda esta normativa será clave a la hora de mantener y reducir las concentraciones que se registraron en este estudio, esto deberá ser un esfuerzo mancomunado de cada una de las direcciones de movilidad de los GAD Municipales cuyas cooperativas forman parte de la red de transporte en la provincia, a nivel de la ciudad de Riobamba el GAD Municipal deberá proponer las nuevas reglamentaciones en conjunto con la Agencia Nacional de Transito.

3.3.3. Realizar el control de las emisiones producidas por las unidades de transporte en cada una de las terminales.

Los controles se realizarían en cada una de las unidades, estos podrán ser fijos en cada terminal o móviles dentro de las distintas rutas que cubren los buses, para esto la dirección de movilidad deberá crear y capacitar brigadas de medición que puedan realizar el trabajo, en las mediciones se debe contar con opacímetros, equipos que miden las emisiones de gases y son de flujo parcial, estos equipos toman la muestra a través de una sonda que va conectada directamente con el tubo de escape, los gases emitidos son llevado a una recámara, donde a partir de un haz de luz se mide la intensidad con la que este haz atraviesa dicha recámara, de esta forma una densidad alta de gases hará que la intensidad de la luz se vea disminuida y por ende aumente la opacidad, en el caso de los motores a diésel los criterios de opacidad están establecidos en función a límites máximos permitidos, mismos que están establecidos por la norma INEN, los cuales indican que para vehículos cuyo año de fabricación sea menor o igual a 1999, el

porcentaje máximo de opacidad es del 60% y para vehículos a partir del año 2000 este límite es del 50%

3.3.4. Promover la renovación de las unidades de transporte.

Dentro de las alternativas propuestas esta es una de las que más problemas puede acarrear principalmente a nivel social, ya que depende de varios factores uno de ellos y el más importante es el económico, el costo de un chasis Hino FG 2017 conjuntamente con la carrocería tiene un costo que va desde los 80000 dólares hasta sobrepasar los 100000 dólares en función a la marca de carrocería que se monte, esta inversión puede ser llevada a cabo por las personas pertenecientes a las cooperativas de transporte interprovincial, por esta razón en la terminal interprovincial no se registran buses con un año de fabricación que este por debajo del 2010, de esta forma cumplen con la resolución No. 139-DIR emitida por la Comisión Nacional de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, la cual indica que el tiempo establecido para realizar el recambio de una unidad de transporte intraprovincial e interprovincial es de 15 años.

Todo lo contrario ocurre con las cooperativas de buses que forman parte de las terminales: intercantonal, oriental y barrio la dolorosa, donde solo un grupo minoritario está en la capacidad de realizar este cambio, el resto de cooperativas adquieren sus unidades de los buses que salen a la venta en las cooperativas interprovinciales y entre las mismas cooperativas, esto ocasiona que con el pasar del tiempo los periodos de renovación no se cumplan y se tengan buses con años de fabricación que van desde el año de 1998, esto resulta ser un problema a largo plazo, ya que con el tiempo los buses van cumpliendo su ciclo de vida de acuerdo a las reglamentaciones, obviamente estos buses no detienen su operatividad y siguen trabajando hasta cuando el daño que se presente se irreparable, esto conlleva a otro problema, debido a que los propietarios en los años finales de servicio de las unidades, no realizan los mantenimientos necesarios y ocupan los vehiculos hasta que estos se paran definitivamente, por ende son los que más contaminación aportan al medio ambiente, el ciclo se repite ya que estas personas no adquieren un bus nuevo, si no adquieren los buses que ya han cumplido su periodo de trabajo en una de las cooperativas, y el ciclo se repite nuevamente.

En función a las razones antes expuesta, se podría decir que una renovación total es sumamente dificultosa, esta se podría implementar solo con el apoyo de las entidades públicas principalmente con créditos a interese bajos y plazos amplios de cancelación, los costos de renovación se podrían optimizar con un estudio de movilidad enfocado a la demanda de unidades en cada una de las rutas, tomando en cuenta el número de pasajeros que se transportan por turno a los distintos destinos, de esta forma se podría determinar la capacidad real que se requiere en las unidades para cubrir demanda de los distintos destinos, un claro ejemplo de esto

es la renovación que tuvo la cooperativa de transportes Penipe, la cual renovó su flota de carros con buses de menor capacidad, en función a la demanda real que tiene esta ruta, lo cual disminuyó el costo de adquisición y al mismo tiempo se cumplen de manera correcta con la demanda de pasajeros que hay al cantón Penipe.

3.4. Discusión

Los niveles de concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ registrados en las cuatro terminales en estudio estuvieron directamente relacionados con los vehículos que circulaban ya sea dentro de las terminales, como es el caso de la interprovincial e intercantonal o en las calles de las cuales formaban parte, como es el caso de las terminales oriental y barrio La Dolorosa, esta afirmación concuerda con la dicho por Quijano y Orozco (2005), quienes manifiestan que el escape de los vehículos a diésel es la principal causa de un elevado nivel de material particulado en las zonas urbanas, además, una característica mutua se registró en las áreas que se encontraban en los alrededores de las terminales, no se observó fuentes complementarias como construcciones, presencia de polvo, industrias o fabricas cuya generación de material particulado pueda modificar las concentraciones obtenidas, cabe recalcar que como lo manifiesta Fang. et al. (2003), el material

Particulado está formado por partículas producto de la combustión como el hollín del diésel, del polvo de la vías o agricultura o procesos productivos, para este estudio al no tener presencia importante de las fuentes antes mencionadas, el mayor porcentaje de las concentraciones totales serán producto de los vehículos y un menor porcentaje de la gran variedad de partículas suspendidas que se encuentran en el aire.

El estudio realizado indicó que las concentraciones se encontraban por debajo de los límites máximos permisibles de acuerdo al Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Norma de Calidad del Aire Ambiente o nivel de inmisión tanto para PM_{10} y $PM_{2.5}$, a pesar de esto se debe tomar en cuenta ciertas conspiraciones, en el caso del PM_{10} de las cuatro terminales evaluadas ninguna se acercó al límite de $100 \mu g/m^3$ registrándose la mayor concentración en la terminal interprovincial la cual alcanzo una media de $79.47 \mu g/m^3$, lo contrario ocurre con los valores registrados para $PM_{2.5}$ donde de las cuatro terminales 3 registraron concentraciones sobre los $40 \mu g/m^3$, valores a tomar en cuenta ya que el límite establecido por la ley es de $50 \mu g/m^3$, en el caso de la terminal interprovincial la media fue de $46.03 \mu g/m^3$, donde en uno de los días de evaluación el valor fue de $49.89 \mu g/m^3$, estos datos por si solos son razones suficiente que invitan a tomar medidas que

eviten que a futuro en la ciudad se sobrepase los límites máximos, teniendo como consecuencia principal el deterioro de la salud, principalmente del aparato respiratorio que es uno de los más perjudicados.

Al realizar una comparación grafica entre el número de vehículos y las concentraciones registradas en cada una de las terminales, se determinó que existe una relación entre estas variables, donde en un primer análisis se observó como a medida que los vehículos aumentaban también lo hacían las concentraciones del material particulado esto quedo corroborado al calcular el coeficiente de correlación de Person, mismo que ratificó la relación antes mencionada, a pesar que los coeficientes indicaron la presencia de una correlación entre las variables en estudios, siendo más fuerte en el caso del PM_{10} , el p-valor calculado en ambos casos nos limita a aceptar completamente este resultado, de acuerdo a lo mencionado por Morales, (2011), se puede decir que existe evidencia no concluyente sobre la significancia de la asociación entre las variables, esta afirmación es entendible ya que la cantidad de material particulado que se ha registrado en las áreas de estudio no solo depende del número de vehículos, sino de otros factores relacionados con cada vehículo, como por ejemplo el año de fabricación o el mantenimiento del motor y el sistema de escape, factores que incidirán en la cantidad de material particulado emitido por las unidades de transporte.

Se confirmó lo expuesto con el coeficiente de correlación de Person, ya que la variación en el número de vehículos hizo que varié las concentraciones en las terminales en estudio, ya que a más del número de vehículos la infraestructura que se encuentra en los alrededores de las terminales incidirá en el comportamiento del viento, y como este acarreará el material particulado suspendido que se encuentre en la zona.

CONCLUSIONES

- Las condiciones operativas de cada uno de los terminales presentan diferencias notables, solo la terminal interprovincial cuenta con una infraestructura completa para su funcionamiento con áreas destinadas a la salida, llegada y parqueo de las unidades de transporte, en el caso del intercantonal a pesar ser nueva la infraestructura solo cuenta con áreas destinadas a la salida de los carros, la llegada y parqueo se lo realiza en los alrededores, tanto la terminal del barrio la dolorosa como la oriental, no tienen infraestructura propia, compartiendo el espacio con la calle donde se ubica, esto ocasiona en las horas pico grandes embotellamientos.
- Las concentraciones medias de material particulado obtenido en los tres días de monitoreo fue para la terminal interprovincial de $79.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / PM_{10} y 46.03 / $\text{PM}_{2.5}$, en la terminal intercantonal de $59.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / PM_{10} y 40.09 / $\text{PM}_{2.5}$, en la terminal del barrio la dolorosa de $47.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / PM_{10} y 46.09 / $\text{PM}_{2.5}$ y en la terminal oriental de $50.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / PM_{10} y $44.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / $\text{PM}_{2.5}$, estas concentraciones registradas en el estudio no sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos por la legislación ecuatoriana de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y de 50 para $\text{PM}_{2.5}$.
- El coeficiente de Person determinó que existe una relación directa positiva entre el número de carros y las concentraciones registradas tanto para PM_{10} como para $\text{PM}_{2.5}$, donde las concentraciones de material particulado aumentaron a medida que los vehículos también lo hicieron, esta relación no fue significativa ya que el número de vehículos es solo una de las variable a tener en cuenta, esto debido a que una cantidad de vehículos en mal estado puede contaminar más que el doble de la misma en buen estado, en este estudio la cantidad hizo la diferencia.
- Mantener al corto plazo las concentraciones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ registradas evitando que estas se incrementen y disminuirlas al mediano y largo plazo en post del beneficio de la salud de las personas que trabajan y ocupan los servicios de transporte en cada una de las terminales, está en manos de las autoridades de turno ya que las actividades que permitan alcanzar estos objetivos dependen del compromiso y financiamiento del GAD de la ciudad, el que tengan ellos la iniciativa y convicción de mejorar la calidad del aire de la ciudad y por ende del transporte, servirá de ejemplo para que exista el compromiso de cambio de todas las cooperativas de las respectivas terminales.

RECOMENDACIONES

- Implementar dentro de cada terminal más puntos de monitoreo que permitan percibir de una manera más clara como es el comportamiento de los contaminantes en las áreas de influencia de cada una de las terminales, determinando si el tráfico vehicular de los alrededores influye o no en las concentraciones registradas en las terminales y viceversa.
- Proyectos futuros deben estar enfocados en determinar las concentraciones de material particulado en otros puntos críticos de la ciudad donde la contaminación pueda estar excediendo los límites máximos permitidos por la legislación ecuatoriana, como es el caso del sector de la salida a Quito y Guayaquil o los mercados como el Mayorista o San Alfonso, donde se tiene una gran presencia vehicular tanto de vehículos livianos como de transporte pesado.
- Realizar el monitoreo de otros tipos de contaminantes que son considerados contaminantes perjudiciales para la salud humana como los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre o monóxido de carbono, de esta forma se podrá tener una visión más clara de hasta qué punto se ha visto perjudicada la calidad del aire de la ciudad de Riobamba.

BIBLIOGRAFÍA

AHRENS, D. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. 2012, Canada: West Publishing Company.

ALFARO, S, et al., *Mineral aerosol production by wind erosion: Aerosol particle sizes and binding energies*. 1998, *Geophysical Research Letters*, págs. 991-994.

ALLEY, Roberts. *Manual de control de la calidad del aire*. Mexico D.F : Editorial McGraw-Hill, 2001.

AUST, B, et al., *Particle characteristics responsible for effects on human lung epithelial cells*. 2002, *Res Rep Health Eff* , págs. 65-76.

BRANIS, M y SAFRANEK, J. *Characterization of coarse particulate matter in school gyms*. 2011, *Environ Res*, págs. 485-490.

CÁCERES, Dante. Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por exposición a material particulado fino (PM_{2.5}) en niños que viven próximos a una playa masivamente contaminada con relaves mineros, Chañaral, Chile. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España*. 2015. [Consulta: 10 de noviembre de 2017.] Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2015/hdl_10803_333059/ddcl1de1.pdf.

COCHA, Laura. Análisis de la concentración de contaminantes SO, NO y BTX usando sensores pasivos. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador*, 2009. [Consulta: 14 de octubre de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/238/1/236T0025.pdf>.

DOMÍNGUEZ, Wendy. Representación espacial por interpolación con Kriging de los contaminantes criterio para analizar la situación de la contaminación atmosférica en la zona metropolitana del valle de Toluca en el año 2011. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México*. 2015. [Consulta: 8 de octubre de 2017.] Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/49320>.

ECHEVERRI, C., Y MAYA , G. Relación entre las partículas finas (PM_{2.5}) y respirables (PM₁₀) en la ciudad de Medellín. 2008. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 23-42.

Agencia de Protección Ambiental. EPA. 2009. Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter. [En línea] (Reporte) *Environmental Protection Agency*. 2009. [Consulta: 7

de julio de 2017.] Disponible en: <https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-particulate-matter>.

FANG, G, et al, *Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM_{2.5} and PM_{2.5-10} aerosols at a farm sampling site in Taiwan Taichung*. 2003, The Science of the Total Environment, págs. 157-166.

FORSTNER, H, FLAGAN, R Y SEINFELD, J. *Secondary aerosol from the photooxidation of aromatic hydrocarbons : Molecular composition*. 1997, Environmental science & technology, págs. 1345 - 1358.

GAIBOR, Verónica. Determinación de la concentración de material del centro histórico de la ciudad de Riobamba en el período 2014. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador*, 2015. [Consulta: 7 de octubre de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4792/1/236T0146.pdf>.

Gobierno del Estado de México. Aire Limpio: Programa para el valle de Toluca 2007-2011. [En línea] (Reporte). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México D.F, México*. 2007. [Consulta: 8 de octubre de 2017.] Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/69308/8_ProAire_ZMVT_2007-2011.pdf.

GONZÁLES , Martha y VILLAFANÍA, Leopoldo. *Contaminación Atmosférica*. México : Universidad Autónoma de México, 2003.

GONZÁLEZ, C. Calidad del Aire en la Zona Centro y Oriente de la ciudad de Manizales: Influencia del Material Particulado (PM₁₀) y Lluvia Ácida. *Universidad Nacional de Colombia*. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia*. 2012. [Consulta: 14 de octubre de 2017.] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6900/1/8109506.2012.pdf>.

GONZÁLEZ, C Y ARISTIZÁBAL, B. *Acid rain and particulate matter dynamics in a midsized Andean city: The effect of rain intensity on ion scavenging*. 2012, Atmospheric Environment, págs. 164 - 171.

HARRISON, R y VAN GRIEKEN, R. *Atmospheric Particles*. 1998, IUPAC series on analytical and physical chemistry of environmental systems, pág. 610.

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Cambio Climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. [En línea] (Reporte). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2001. [Consulta: 1 de noviembre de 2017.]

Disponible en: <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf>.

KATHRYN, Conko, RICE, Karen y KENNEDY, Margaret. *Atmospheric wet deposition of trace elements to a suburban environment, Reston, Virginia, USA*. 2004, Atmospheric Environment, págs. 4025-4033.

LÓPEZ, Jerónimo y SOLÍS. *Principios basicos de contaminación ambiental*. Toluca : Universidad Autonoma del Estado de México, 2003.

LOZANO, Cristian. Propuesta de un plan de control de la calidad del aire de particula sedimentables de la ciudad de Riobamba. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador*. 2009. [Consulta: 1 de noviembre de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/239/1/236T0026.pdf>.

MARTIN, Paula. Contaminación del aire por material particulado en la ciudad de Buenos Aires. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina*. 2005. [Consulta: 7 de octubre de 2017.] Disponible en: http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3931_Martin.pdf.

MARTÍNEZ, E, et al., Diagnóstico de la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población Medellín y su área metropolitana. [En línea] (Reporte). *Alcaldía de Medellín, Medellín, Colombia*. 2007. [Consulta: 8 de octubre de 2017.] Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpcccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Salud/Secciones/Publicaciones/Documentos/2012/Investigaciones/Contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20y%20efectos%20sobre%20la%20salud%20de%20la%20poblaci%C3%B3n.pdf>.

MOLINA, Pedro. Simulación numérica de un problema de contaminación atmosférica. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España*. 2013. [Consulta: 3 de noviembre de 2017.] Disponible en: oa.upm.es/30472/1/PEDRO_MOLINA_JIMENEZ.pdf.

MORALES, P. El coeficiente de correlación. [En línea] (Reporte). *Universidad Rafael Landívar, La Habana, Cuba*. 2011. [Consulta: 3 de noviembre de 2017.] Disponible en: [http://www.unizar.es/ice/images/stories/materiales/curso_06_2016/01.%20Documento%201%20\(correlaciones\).pdf](http://www.unizar.es/ice/images/stories/materiales/curso_06_2016/01.%20Documento%201%20(correlaciones).pdf).

NRIAGU, J Y PACYNA, J. *Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals.* 1998, Nature, págs. 134-139.

ODUM, J, et al., *The atmospheric aerosol-formation potential of whole gasoline vapour.* 1997, Science, págs. 96-99.

Organización Panamericana de la Salud. OPS. Curso de autoinstrucción. Conceptos básicos sobre la meteorología de la contaminación del aire. [En línea] (Reporte). *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental - Organización panamericana de la salud.* 2006. [Consulta: 8 de octubre de 2017.] Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/index.html.

PDOT. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2015 - 2019.* [En línea] (Informe). Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal Riobamba, Riobamba, Ecuador. 2015 [Consulta: 9 de octubre de 2017.] Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660000360001_Plan%20de%20Desarrollo%20Cantonal%202014-2019_15-03-2015_12-35-54.pdf

QUEROL, X, et al., *Mineral composition of atmospheric particles around a large coal-fired power station.* 1996, Atmospheric Environment, págs. 3557 - 3572.

QUIJANO, A Y OROZCO, J. *Monitoreo de material particulado fracción respirable (PM_{2.5}) en Pamplona (Colombia).* 2005, Revista de la Facultad de Ciencias Basica, págs. 1-11.

SALVADOR, Pedro. Caracterización de la contaminación atmosférica producidas por partículas en suspensión en Madrid. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.* 2005. [Consulta: 14 de octubre de 2017.] Disponible en: <http://eprints.ucm.es/5402/1/T27355.pdf>.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ley General del Equilibrio Ecológico y protección al ambiente.. [En línea] (Reporte). *SEMARNAT , México D.F, México.* 2015. [Consulta: 6 de noviembre de 2017.] Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf>.

SEINFELD, J Y PANDIS, S. *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change.* Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2006.

SILVA , V. (2010). Contaminación del aire por material particulado (PM₁₀ y Pm_{2.5}). [En línea] (Informe) *Observatorio Urbano de León, Mexico.* 2010. [Consulta: 6 de noviembre de

2017.] Disponible en :http://tallerdearquitecturamexicana.com/observaleon.org/wp-content/uploads/2010/03/Material-Particulado_Vicente-Silva.pdf

STRAUSS, W Y MAINWARING, S. *Contaminacion del Aire: causas, efectos y soluciones.* Mexico D.F : Trillas, S.A, 2011.

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente. TULSMA. ANEXO 4
Tulsma - Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión. [En línea] (Informe). *Ministerio del Ambiente, Quito, Ecuador.* 2015. [Consulta: 10 de noviembre de 2017.] Disponible en: http://gis.uazuay.edu.ec/ide2015/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf

UNTUÑA, A. (2011). Proyecto arquitectónico de ampliación de los edificios de la facultad de administración de empresas de la ESPOCH. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.* 2011. [Consulta: 10 de noviembre de 2017.] Disponible en: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/13690/1/50448_1.pdf

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. US-EPA. Air Quality Index. A Guide to Air Quality and Your Health. Office of Air Quality Planning and Standards.. [En línea] (Reporte). *United States Environmental Protection Agency, Estados Unidos.* 2009. [Consulta: 10 de noviembre de 2017.] Disponible en: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100BZIZ.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006%20Thru%202010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQField=>

VILLEGAS, P. Evaluación y control de la contaminación. Colombia. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.* 1999. [Consulta: 14 de octubre de 2017.] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/31723010_Evaluacion_y_control_de_la_contaminacion_FA_Villegas_Posada_prol_de_Daniel_Vidart.

WHO. Guías de la calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono y el dióxido de azufre.. [En línea] (Reporte). *Organización mundial de la salud* , 2005. [Consulta: 5 de noviembre de 2017.] Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf.

